

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG
BENGKEL DAN LABORATORIUM POLITEKNIK
PERKAPALAN NEGERI SURABAYA DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN
METODE PELAKSANAAN PELAT BETON BONDEK

INNEKE AYU PRIHANDHINI
NRP. 3116 040 512

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc. PhD.
NIP. 19630726 198903 1 0003

PROGRAM STUDI DIPLOMA IV LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG
BENGKEL DAN LABORATORIUM POLITEKNIK
PERKAPALAN NEGERI SURABAYA DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN
METODE PELAKSANAAN PELAT BETON BONDEK**

**INNEKE AYU PRIHANDHINI
NRP. 3116 040 512**

**DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc. PhD.
NIP. 19630726 198903 1 0003**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA IV LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT - RC145501

**STRUCTURE DESIGN OF LABORATORY BUILDING AND
POLITECNICAL WORKSHOP OF SHIPPING SURABAYA
USING SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM
AND FLOORDECK CONCRETE SLABS
IMPLEMENTATION METHOD.**

**INNEKE AYU PRIHANDHINI
NRP. 3116 040 512**

**COUNSELOR LECTURER
Prof. Ir. M. SIGIT DARMAWAN, M.EngSc. PhD.
NIP. 19630726 198903 1 0003**

**DIPLOMA IV PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING IN ADVANCED
(EXTENDED) LEVEL
DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCASIONAL
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG
BENGKEL DAN LABORATORIUM PPPNS DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN
METODE PELAKSANAAN PELAT BETON BONDEK.

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Kelulusan Pada
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Disusun Oleh :



Inneke Ayu Prihandhini
NRP. 3116 040 512

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Terapan :
Dian P. A. Juli 2017



04 AUG 2017

Prof. Dr. M. Sigit D., M.EngSc. PhD
NRP. 1963072319890310003

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG
BENGKEL DAN LABORATORIUM PPNS DENGAN METODE
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK) DAN
METODE PELAKSANAAN PELAT BETON BONDEK.

Mahasiswa : Inneke Ayu Prihandhini
NRP : 3116 040 512
Jurusan : D-IV Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. PhD.
19630726 198903 1 003

ABSTRAK

Perencanaan struktur beton bertulang pada struktur gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS ITS yang terletak di Jalan Teknik Kimia Keputih Surabaya ini bertujuan untuk mengetahui: (1) Dimensi balok dan kolom yang mampu menahan beban gempa rencana yang bekerja. (2) Gambar detail penulangan struktur primer dan struktur sekunder hasil perencanaan. (3) Metode Pelaksanaan Pelat Beton Bondek.

Dalam tugas akhir ini akan direncanakan struktur gedung beton bertulang dengan menghilangkan dinding geser yang ada pada perencanaan awal menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sesuai dengan SNI 03-2847-2013, SNI 1726-2012 serta peraturan penunjang lainnya yang berlaku di Indonesia. Dimana bangunan model Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) akan menggunakan *Strong Column and Weak beam* (kolom kuat balok lemah). Struktur yang akan direncanakan adalah gedung pendidikan 9 lantai dan termasuk dalam kategori desain seismik D. Sistem Rangka Pemikul Momen adalah sistem rangka ruang dalam dimana komponen-komponen struktur dan jaoin-joinnya menahan

gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Hasil dari perhitungan ini berupa gambar teknik yang terdiri dari gambar arsitek dan gambar struktur. Selain itu, dalam perencanaan ini juga merencanakan metode pelaksanaan pemasangan pelat beton bondek.

Kata Kunci : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, Metode Pelaksanaan Pelat Beton Bondek.

STRUCTURE DESIGN OF LABORATORY BUILDING AND POLITECNICAL WORKSHOP OF SHIPPING SURABAYA USING SPECIAL MOMENT RESISTING FRAME SYSTEM.

Student Name : Inneke Ayu Prihandhini
NRP : 3116 040 512
Department : D-IV Teknik Sipil
Counselor Lecturer : Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. PhD.
19630726 198903 1 003

ABSTRACT

Structure design of Laboratory Building and Politecnical Workshop of Shipping Surabaya located at Teknik Kimia Sukolilo Surabaya aims to know: (1) Dimensions of beams and columns that are able to with stand the earthquake load of the work plan. (2) Shop drawing of primary and secondary structure of planning result. (3) Floordeck concrete slabs implementation method.

In this final project this building is redesigned without shear wall using Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) based on Structural Concrete Requirements for Building SNI 03-2847-2013, for earthquake based on Earthquake Resistance Planning Procedures for Building Structure and Non Building SNI 1726-2012 and other supporting regulations applicable in Indonesia. Where the model building of the Special Moment Resisting Frame System (SRPMK) will use Strong Column and Weak beam. The structure to be planned is a 9-story educational building and belongs to the seismic design category D. The Moment Frame System is an inner space system in which the structural components and jaoin-join retain forces acting through the action of bending, shearing and axial. The result of this calculation is a technical drawing consisting of architectural drawings and structural drawings. In addition, in this

plan also planned the method of implementation of floordeck concrete slabs .

Keywords: Special Moment Resisting Frame System, Floordeck Concrete Slabs Implementation Method.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan rahmat-Nya dalam memberikan kesehatan dan kekuatan bagi penulis guna menyelesaikan penyusunan Proyek Akhir ini.

Tersusunnya Proyek Akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah begitu banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Untuk itu kami mengucapkan terimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kekuatan serta kelancaran dalam menyusun proyek akhir ini.
2. Kedua orang tua dan saudara-saudara saya tercinta sebagai penyemangat dan banyak memberi dukungan moral maupun material serta do'a.
3. Bapak Prof. Ir. M. Sigit D, M.EngSc. PhD. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan serta motivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
4. Bapak Ir. FX Didik Harijanto, CES, selaku dosen wali.
5. Segenap dosen dan karyawan pada program studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS.
6. Teman-teman terdekat yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyusunan proyek akhir ini.

Penulis menyadari bahwa proyek akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala saran, kritik, serta masukan yang sifatnya membangun sangat diharapkan demi perbaikan pada penyusunan proyek akhir ini.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. BATASAN MASALAH	3
1.4. TUJUAN	4
1.5. MANFAAT	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. KRITERIA MENENTUKAN SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN	5
2.1.1. Penentuan Parameter S_s dan S_I	5
2.1.2. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)	6
2.2. SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS (SRPMK)	7
2.2.1. Perencanaan Balok	8
2.2.2. Perencanaan Kolom	12
2.2.3. Perencanaan Hubungan Balok dan Kolom	17
BAB III METODOLOGI	19
3.1 PENGUMPULAN DATA	20
3.2 ANALISA PEMBEBANAN	21
3.2.1 Beban Mati	21
3.2.2 Beban Hidup	22

3.2.3	<i>Beban gempa</i>	22
3.3	PEMODELAN STRUKTUR	22
3.4	ANALISA GAYA DALAM	24
3.5	PERHITUNGAN TULANGAN	24
3.6	GAMBAR PERENCANAAN	26
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	29
4.1.	PRELIMINARY DESIGN	29
4.1.1.	<i>Perencanaan Dimensi Balok</i>	29
4.1.2.	<i>Perencanaan Dimensi Kolom</i>	31
4.1.3.	<i>Perencanaan Dimensi Sloof</i>	32
4.1.4.	<i>Perencanaan Dimensi Pelat</i>	34
4.2.	PERHITUNGAN PEMBEBANAN	38
4.2.1.	<i>Beban Mati</i>	38
4.2.2.	<i>Beban Hidup</i>	39
4.2.3.	<i>Beban Gempa</i>	40
4.3.	KONTROL STRUKTUR	44
4.3.1.	<i>Kontrol Periode Fundamental Struktur</i>	44
4.3.2.	<i>Kontrol Simpangan antar Lantai</i>	45
4.3.3.	<i>Kontrol Gaya Geser Dasar Gempa</i>	46
4.4.	PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER	49
4.4.1.	<i>Perhitungan Pelat</i>	49
4.4.2.	<i>Perhitungan Tangga</i>	63
4.5.	PERENCANAAN STRUKTUR PRIMER	81
4.5.1.	<i>Perhitungan Tulangan Balok</i>	81
4.5.2.	<i>Perhitungan Tulangan Kolom</i>	124
4.5.3.	<i>Perhitungan Tulangan pada Hubungan Balok dan Kolom</i>	154
4.6.	METODE PELAKSANAAN PELAT BETON BONDEK ERROR!	
	BOOKMARK NOT DEFINED.	
BAB V	KESIMPULAN	158
5.1	KESIMPULAN	164

5.1.1	<i>Hasil Penulangan Struktur Sekunder</i>	<i>164</i>
5.1.2	<i>Hasil Penulangan Struktur Primer.....</i>	<i>165</i>
DAFTAR PUSTAKA.....		167

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penentuan KDS	7
Tabel 3. 1 Peraturan yang Digunakan	20
Tabel 4. 1 Perhitungan Nilai N-SPT	41
Tabel 4. 2 Perhitungan Hasil Nilai N-SPT	41

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta respon spektra percepatan 0.2 detik (S_s) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun	5
Gambar 2. 2 Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S_1) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.	6
Gambar 2. 3 Ketentuan Dimensi Penampang Balok	9
Gambar 2. 4 Persyaratan Tulangan Lentur	9
Gambar 2. 5 Persyaratan Sambungan Tulangan.....	10
Gambar 2. 6 Persyaratan Tulangan Transversal	11
Gambar 2. 7 Persyaratan untuk Sengkang Tertutup	11
Gambar 2. 8 Geser Desain untuk Balok	12
Gambar 2. 9 Persyaratan Geometri Kolom	13
Gambar 2. 10 Persyaratan Kolom Kuat Balok Lemah	13
Gambar 2. 11 Sambungan Lewatan pada Kolom	14
Gambar 2. 12 Persyaratan Kekangan untuk Sengkang Tertutup Persegi	15
Gambar 2. 14 Geser Desain untuk Kolom.....	16
Gambar 2. 13 Contoh Tulangan Transversal pada Kolom	16
Gambar 2. 15 Luas Joint Efektif.....	18
 Gambar 3. 1 Flowchart Perencanaan Struktur Bangunan.....	19
Gambar 3. 2 Model Perencanaan Struktur Gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).....	23
Gambar 3.3 Flowchart Perhitungan Struktur Primer.....	25
Gambar 3.4 Flowchart Perhitungan Struktur Sekunder	26
 Gambar 4. 1 Denah Rencana Balok.....	29
Gambar 4. 2 Denah Rencana Kolom	31
Gambar 4. 3 Denah Rencana Sloof	32

Gambar 4. 4Denah Rencana Pelat	34
Gambar 4. 5 Grafik Spektrum Respons Gempa 2500 tahun	42
Gambar 4. 6 Grafik Spektrum Respons Gempa 2500 tahun	45
Gambar 4. 7 Penentuan Simpangan Antar Lantai	45
Gambar 4. 8 Sketsa Denah Lantai Laboratorium Tipe A	49
Gambar 4. 8 Tinggi Efektif Potongan Pelat	52
Gambar 4. 9 Penulangan Pelat Tipe A	63
Gambar 4. 10 Sketsa Denah Lantai 2 Area Tangga.....	64
Gambar 4. 11Sketsa Potongan Perencanaan Tangga Area 1	64
Gambar 4. 12Sketsa Analisa Sturuktur Perencanaan Tangga Area 1	67
Gambar 4. 13 Tinggi Efektif Potongan Pelat Tangga.....	73
Gambar 4. 14Denah Penulangan Struktur Tangga	80
Gambar 4. 15 Potongan Struktur Tangga	80
Gambar 4. 16 Tinggi Efektif Balok	82
Gambar 4. 17 Denah Posisi Balok B1 35/70 pada Joint 2 As B-E...	83
Gambar 4. 18 Posisi BalokB1 35/70 pada Joint 2 As B – E.....	83
Gambar 4. 19 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMK	84
Gambar 4. 20 Ukuran penampang B 35/70	85
Gambar 4. 21 Hasil Penulangan Balok B 35/70 Tumpuan.....	102
Gambar 4. 22 Hasil Penulangan Balok B 35/70 Lapangan	112
Gambar 4. 23 Panjang Penyaluran Kait.....	114
Gambar 4. 24 PenyaluranTulangan Momen Negatif.....	116
Gambar 4. 25 Pembengkokan Senggang Balok B 35/70.....	117
Gambar 4. 26 Perencanaan Geser untuk Balok SRPMK.....	117
Gambar 4. 27 Denah Posisi Kolom K1 (70/70) pada As 5 – E	125
Gambar 4. 28 Posisi Kolom K1 (70/70) pada As 5 – E.....	126
Gambar 4. 29 Faktor Panjang Efektif k.....	132
Gambar 4. 30 Diagram Interaksi Penulangan 4 sisi	136
Gambar 4. 31 Kontrol Kondisi Tekan Kolom	141

Gambar 4. 32	Hasil Penulangan Kolom K1 (70/70).....	144
Gambar 4. 33	Hasil Output pcaColumn K1	145
Gambar 4. 34	Ilustrasi ϕM_n Balok Akibat Goyangan Struktur	146
Gambar 4. 35	Hasil Penulangan Kolom K1 70/70 Tumpuan	149
Gambar 4. 36	Perencanaan Geser untuk Kolom SRMPK	150
Gambar 4. 37	Hasil Penulangan Kolom K1 70/70 Lapangan	153
Gambar 4. 38	Hasil Penulangan Kolom K1 70/70 Tumpuan	155
Gambar 4. 39	<i>Free-body</i> Diagram Join	157
Gambar 4. 40	Denah Pelat Rencana	158

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia terletak pada daerah rawan gempa, untuk mengurangi resiko akibat bencana gempa tersebut perlu direncanakan struktur bangunan tahan gempa. Perencanaan bangunan tahan gempa pada umumnya didasarkan pada analisa elastik yang diberi faktor beban untuk simulasi kondisi ultimit (batas). Kenyataannya, perilaku runtuh struktur bangunan pada saat gempa adalah pada saat kondisi inelastis. Evaluasi untuk memperkirakan kondisi inelastik struktur bangunan pada saat gempa perlu mendapatkan jaminan bahwa kinerjanya mampu menahan gaya gempa. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen nonstruktural maupun pada komponen strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang, bangunan hanya diperbolehkan mengalami kerusakan pada komponen nonstruktural mampu menahan gaya gempa. Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen nonstruktural maupun pada komponen strukturalnya. Bila terjadi gempa sedang, bangunan hanya diperbolehkan mengalami kerusakan pada komponen nonstruktural. Bila terjadi gempa besar, bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan pada komponen non struktural dan struktural namun tidak diijinkan mengalami keruntuhan bangunan.

Sistem struktur bangunan tinggi tidak hanya dapat menahan guncangan akibat gempa saja namun juga harus dapat memikul serta beban gravitasi dan beban angin. Hal tersebut tentunya tidak hanya bertujuan untuk menciptakan struktur bangunan yang lebih kuat dan tahan gempa, tetapi juga

bertujuan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan bagi setiap orang yang ada dan tinggal di dalam bangunan tersebut. Perencanaan bangunan gedung bertingkat tinggi dengan resiko kegempaan dapat dihitung dengan beberapa metode. Diantaranya adalah metode Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Sistem rangka pemikul momen terbagi dalam kategori desain seismik yang didasarkan pada lokasi perencanaan. Pada lokasi yang terjadi di wilayah resiko rawan kegempaan tinggi dengan kategori desain seismik D, E dan F direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Namun untuk lokasi yang terjadi di wilayah resiko kegempaan sedang dengan kategori desain seismik C direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Dan pada lokasi yang terjadi di wilayah resiko kegempaan rendah dengan kategori desain seismik A dan B direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) (Iswandi, 2014).

Dalam perencanaan tugas akhir ini menggunakan bangunan gedung laboratorium dan bengkel PPNS ITS yang terletak di jalan Teknik Kimia Keputih Surabaya dan terdiri dari 9 lantai. Pada perencanaan awal gedung ini terdapat dinding geser, namun pada tugas akhir ini bangunan gedung laboratorium dan bengkel PPNS ITS direncanakan ulang tanpa dinding geser pada wilayah gempa khusus. Selain itu, dalam perencanaan ini juga merencanakan metode pelaksanaan pelat beton bondek. Pada pelaksanaannya pelat beton bondek berfungsi sebagai lantai kerja sementara, bekisting tetap dan juga tulangan positif.

Perencanaan gedung laboratorium dan bengkel PPNS ITS di wilayah Surabaya merupakan kota di Indonesia pada kondisi tanah dengan nilai respon spektra percepatan 1.0 detik (S_I) di

batuan dasar (S_B) sebesar 0,2 – 0,25g dan respon spektra percepatan 0.2 detik (S_i) di batuan dasar (S_B) sebesar 0,6 – 0,7g. Dengan ini bangunan gedung laboratorium dan bengkel PPNS ITS dapat direncanakan dengan metode SRPMK. Perencanaan ini diharapkan mampu memikul beban gempa dengan probabilitas keruntuhan bangunan 2% dalam 50 tahun yang direncanakan pada kategori desain seismik D berdasarkan SNI 1726-2012.

Dalam perencanaan dan perhitungan penulangan pada struktur bangunan gedung ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2847-2013 tentang perhitungan struktur beton, yaitu dengan kriteria struktur sebagai rangka pemikul momen khusus, serta dengan memperhatikan ketentuan yang tercantum pada peraturan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012). Dan juga mengacu pada SNI 03-1727-2013 tentang pembebanan.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat diambil rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana merencanakan struktur gedung bengkel dan laboratorium PPNS ITS dengan metode SRPMK ?
2. Bagaimana menggambar hasil perencanaan menjadi gambar perencanaan ?
3. Bagaimana langkah-langkah metode pelaksanaan pelat beton bondek ?

1.3. Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam proyek akhir ini meliputi :

1. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode respons spektrum.
2. Perhitungan struktur yang ditinjau adalah pada 2 portal yang telah ditentukan (portal memanjang dan melintang).

3. Perhitungan struktur mencakup seluruh bangunan yang termasuk bangunan atas.
4. Perencanaan gedung ini hanya memperhitungkan segi struktural, tanpa memperhitungkan segi arsitektural dan anggaran biaya.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan proyek akhir ini adalah :

1. Menghasilkan perencanaan struktur gedung bengkel dan laboratorium PPNS ITS dengan metode SRPMK.
2. Menggambar struktur yang telah dianalisa menjadi sebuah gambar perencanaan.
3. Menghasilkan langkah-langkah pelaksanaan pelat beton bondek dilapangan.

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan proyek akhir ini adalah :

1. Dapat menerapkan perhitungan struktur pada gedung laboratorium dan bengkel PPNS ITS dengan metode SRPMK.
2. Dapat melakukan perencanaan gambar kerja pada bangunan yang berfungsi sebagai sarana pendidikan.
3. Dapat menjadi bahan pertimbangan dan suatu kajian dalam membangun gedung menggunakan metode SRPMK.
4. Dapat dijadikan referensi Proyek Akhir pada perpustakaan Diploma Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

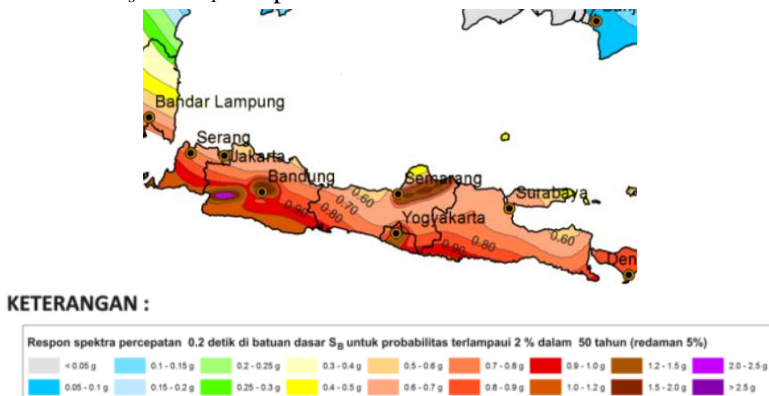
Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dalam perencanaan bangunan gedung tahan gempa, telah ditetapkan dalam Standart Nasional Indonesia Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk bangunan gedung, bahwa sistem rangka pemikul momen dibagi dalam 3 (tiga) kelas yaitu :

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

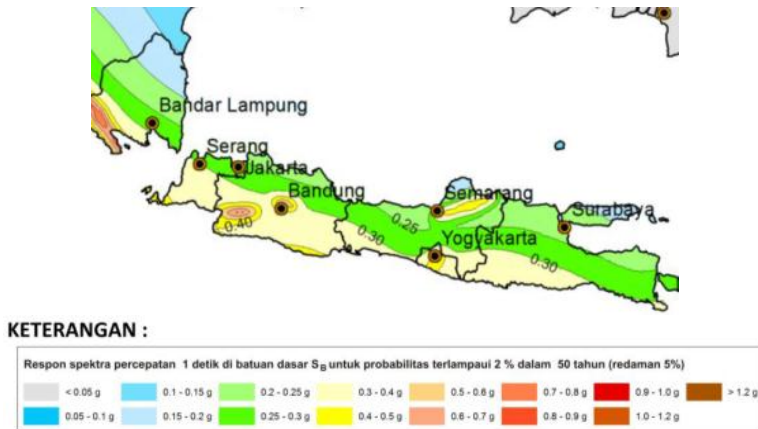
3.1. Kriteria Menentukan Sistem Rangka Pemikul Momen.

3.1.1. Penentuan Parameter S_s dan S_1

Dalam perencanaan pembangunan gedung parameter-parameter dasar pergerakan tanah dalam SNI Gempa adalah S_s dan S_1 . Kegunaan kedua parameter ini adalah dalam menentukan parameter percepatan spektral desan S_{DS} dan S_{D1} . Nilai S_s dan S_1 didapatkan dari Peta Hazard Indonesia 2010.



Gambar 2. 1 Peta respon spektra percepatan 0.2 detik (S_s) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



Gambar 2. 2Peta respon spektra percepatan 1.0 detik (S_1) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.

3.1.2. Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS).

Nilai respon spektrum dapat diketahui melalui dari 2 cara, yaitu melalui website puskim.pu.go.id dan dapat juga melalui perhitungan data tanah lapangan. Berdasarkan kedua cara tersebut akan didapatkan data respons spektra percepatan pada periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}). Hal ini akan menentukan Kategori Desain Seismik (KDS) berdasarkan Tabel 6 dan 7 sesuai SNI 1726-2012. Kecuali untuk nilai S_1 lebih kecil dari 0,75 maka penentuan KDS hanya berdasarkan Tabel 6. Selain itu jenis pemanfaatan bangunan juga menentukan KDS perencanaan sesuai dengan Tabel 1 SNI 1726-2012. Berikut merupakan penentuan jenis struktur pada beton bertulang yang dapat digunakan berdasarkan nilai KDS Tabel 9 SNI 1726-2012.

Tabel 2. 1 Penentuan Sistem Struktur Berdasarkan KDS

Kategori Desain Seismik	Jenis Struktur yang Dapat Digunakan
KDS A, B	- SRPMB - SRPMM - SRPMK
KDS C	- SRPMM - SRPMK
KDS D, E, F	- SRPMK

3.2. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel. Sistem rangka pemikul momen khusus wajib digunakan untuk wilayah dengan resiko gempa tinggi (kategori desain seismik D, E dan F dalam SNI 1726-2012 atau ASCE-7). SRPMK dapat digunakan juga dalam kategori desain seismik A, B dan C, namun perlu diperhatikan jika tidak ekonomis.

Dengan pendetailan mengikuti ketentuan SRPMK, maka faktor reduksi gaya gempa R dapat diambil sebesar 8, yang artinya bahwa gaya gempa rencana hanya $1/8$ dari gaya gempa untuk elastis desain. Hal ini disebabkan karena struktur SPRMK memiliki sifat yang fleksibel dengan daktilitas yang tinggi, sehingga bisa direncanakan dengan gaya gempa rencana yang minimum. Namun kekuatan dan kekakuan dari struktur juga harus diperhatikan untuk mampu menahan beban rencana, baik beban gravitasi maupun angin dan gempa, dan juga struktur harus menghasilkan story drift yang sesuai dengan batasan peraturan. Drift dari struktur dihitung dengan beban terfaktor yang diamplifikasi dengan faktor C_d (SNI

1726-2012 tabel 9). Dalam analisa tersebut, kekakuan efektif dari frame juga harus mempertimbangkan efek dari keretakan beton.

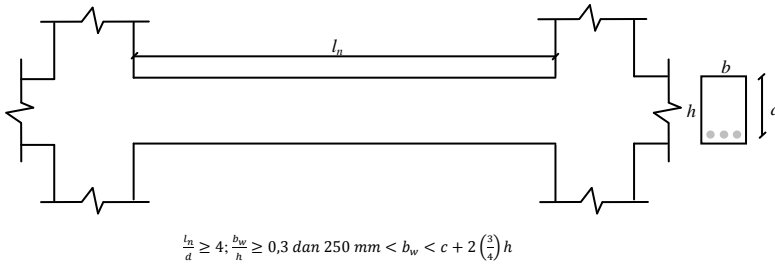
Pendetailan dalam ketentuan SRPMK adalah untuk memastikan bahwa respon inelastis dari strukur bersifat daktail. Prinsip ini terdiri dari tiga (Iswandi, 2014):

1. Strong-Column/weak-beam yang bekerja menyebar di sebagian besar lantai
2. Tidak terjadi kegagalan geser pada balok, kolom dan joint
3. Menyediakan detail yang memungkinkan perilaku daktail

3.2.1. Perencanaan Balok

Dalam merencanakan penulangan balok persyaratan yang digunakan sesuai dengan SNI 2847 – 2013 pasal 21.5, sedangkan untuk perencanaan kekuatan geser balok yang menahan pengaruh gaya lateral sesuai dengan SNI 2847 – 2013 pasal 21.5.4 yang memenuhi sistem rangka pemikul momen khusus yaitu:

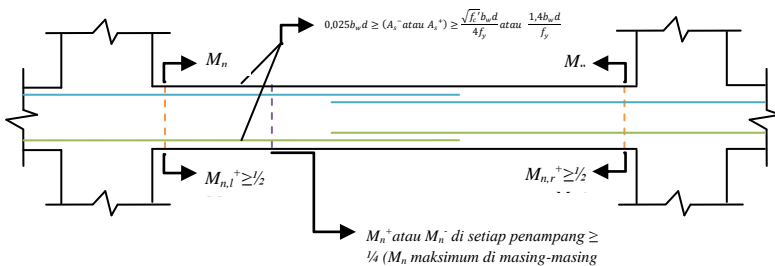
1. Persyaratan Gaya dan Geometri
 - Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur, P_u , tidak boleh melebihi $A_g f_c' / 10$.
 - Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
 - Lebar komponen, b_w , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari $0,3h$ dan 250 mm.
 - Lebar komponen struktur, b_w , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu, c_2 , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari :
 - (a) Lebar komponen struktur penumpu, c_2 , dan
 - (b) 0,75 kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu, c_1 .



Gambar 2. 3 Ketentuan Dimensi Penampang Balok

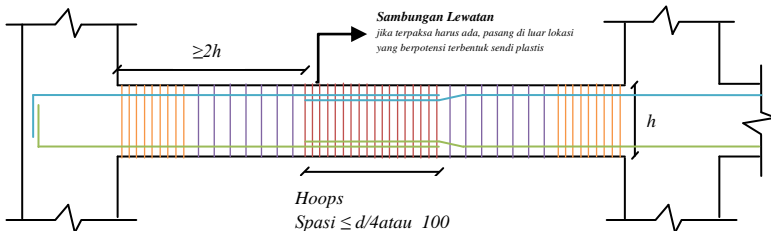
2. Persyaratan Tulangan Lentur

- Untuk masing-masing luas tulangan atas maupun bawah tidak boleh kurang dari $A_{smin} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$ atau $1,4b_w d/f_y$, dan rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi 0,025. Selain itu, pada penampang harus terpasang secara minimum dua batang tulangan atas dan dua batang tulangan bawah.
- Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih besar atau sama dengan setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.



Gambar 2. 4 Persyaratan Tulangan Lentur

- Syarat sambungan lewatan pada tulangan lentur :
 - Pada penyambungan tulangan lentur harus diberi tulangan spiral atau sengkang tertutup di sepanjang sambungan.
 - Spasi sambungan $\leq d/4$ atau 100 mm.
 - Tidak boleh digunakan pada daerah hubungan balok-kolom.
 - Tidak boleh digunakan pada daerah hingga jarak $2h$ dari muka kolom.
 - Tidak boleh digunakan pada lokasi yang memperlihatkan kemungkinan terjadinya leleh lentur berdasarkan hasil analisis.

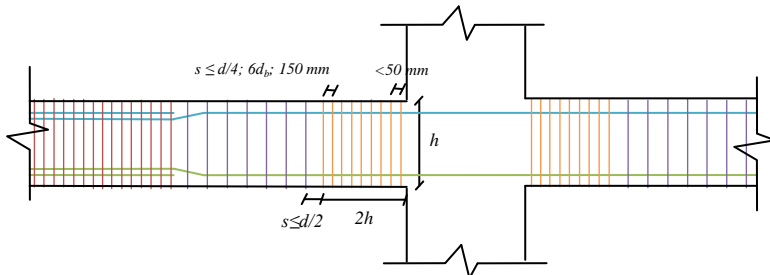


Gambar 2. 5 Persyaratan Sambungan Tulangan

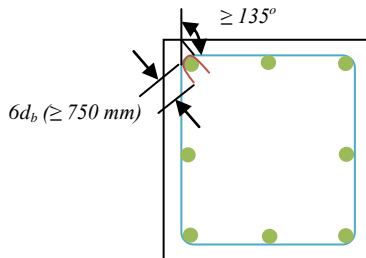
3. Persyaratan Tulangan Transversal

- Sengkang tertutup harus dipasang :
 - $2h$ dari muka tumpuan.
 - $2h$ pada kedua sisi yang berpotensi membentuk sendi plastis.
- Sengkang tertutup pertama harus dipasang :
 - < 50 mm
- Sengkang tertutup daerah tumpuan harus dipasang :
 - $s \leq d/4$
 - $s \leq 6d_b$

- $s \leq 150 \text{ mm}$
- $s \leq 350 \text{ mm}$
- Sengkang tertutup tidak diperlukan, daerah lapangan harus dipasang :
 - $s \leq d/2$

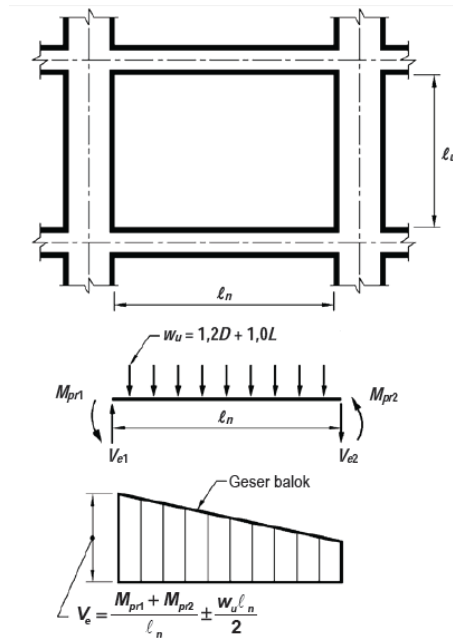


Gambar 2. 6 Persyaratan Tulangan Transversal



Gambar 2. 7 Persyaratan untuk Sengkang Tertutup

- $V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u + l_n}{2}$
- $V_c = 0$ selama :
 - $V_e \leq \frac{1}{2} V_{e,max}$
 - $P_u > A_g f_c / 20$



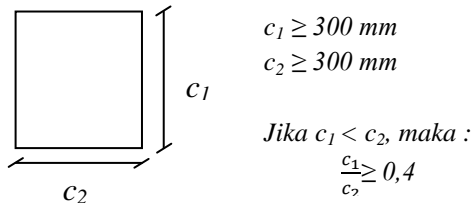
Gambar 2. 8 Geser Desain untuk Balok

3.2.2. Perencanaan Kolom

Dalam merencanakan penulangan kolom persyaratan yang digunakan sesuai dengan SNI 2847 – 2013 Pasal 21.6, sedangkan untuk perencanaan kekuatan geser kolom yang menahan pengaruh gaya lateral sesuai dengan SNI 2847 – 2013 Pasal 21.6.5 yang memenuhi sistem rangka pemikul momen khusus yaitu:

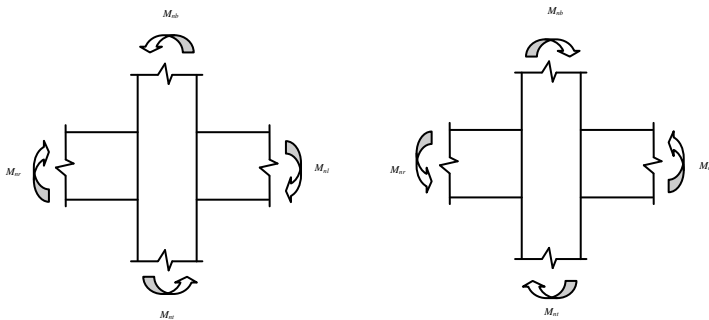
1. Persyaratan Geometri

- $c \geq 300 \text{ mm}$
- $\frac{c_1}{c_2} \geq 0,4$



Gambar 2. 9 Persyaratan Geometri Kolom

2. Kekuatan Lentur Minimum Kolom

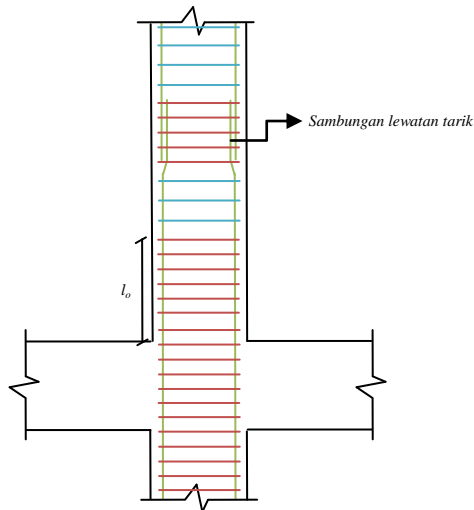


$$(M_{nl} + M_{nb}) \geq 1,2 (M_{nr} + M_{nl})$$

Gambar 2. 10 Persyaratan Kolom Kuat Balok Lemah

3. Persyaratan Tulangan Lentur

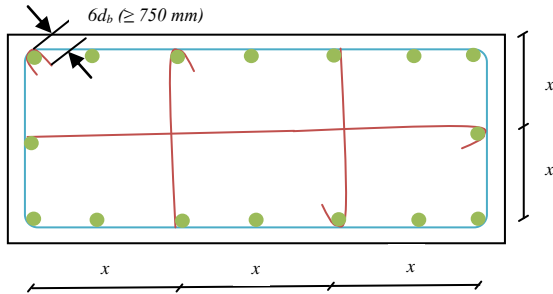
- $A_{st} > 0,01A_g < 0,06A_g$
- Sambungan lewatan direncanakan sesuai ketentuan seperti di bawah ini :



Gambar 2. 11 Sambungan Lewatan pada Kolom

4. Persyaratan Tulangan Transversal

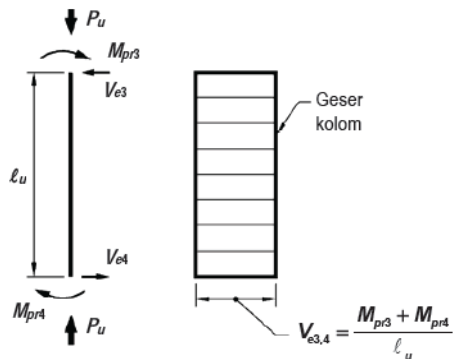
- $\rho_s > 0,12 \left(\frac{f_c'}{f_{yt}} \right)$ dan $0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$
- $A_{sh} > 0,3 \frac{sbcfc'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$ dan $0,09 \frac{sbcfc'}{f_{yt}}$
- Daerah yang berpotensi sendi plastis, harus dipasang tulangan transversal dengan ketentuan :
 - Sepanjang l_o dari setiap muka hubungan balok-kolom.
 - Sepanjang l_o pada kedua sisi dari setiap penampang yang berpotensi membentuk sendi plastis akibat deformasi lateral inelastis pada struktur rangka.
 - Sepanjang daerah sambungan lewatan tulangan longitudinal kolom
 - Ke dalam kepala fondasi sejauh minimum 300 mm
- Panjang l_o tidak kurang dari :
 - H



Gambar 2. 13 Contoh Tulangan Transversal pada Kolom

5. Persyaratan Kekuatan Geser

- $V_e = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u}$
- $V_c = 0$ selama :
 - $V_e \leq \frac{1}{2} V_{e,max}$
 - $P_u > A_g f_c / 10$

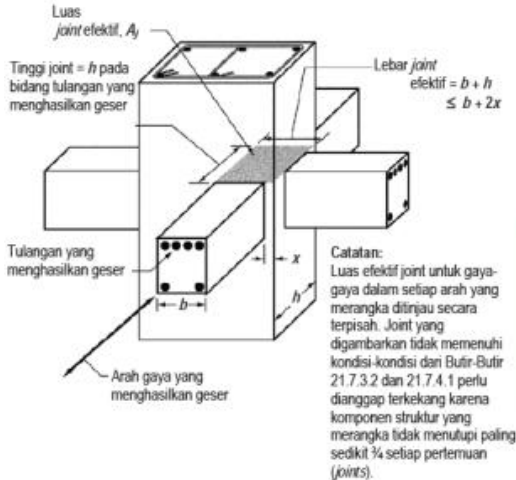


Gambar 2. 14 Geser Desain untuk Kolom

2.2.3. Perencanaan Hubungan Balok dan Kolom

Dalam merencanakan penulangan hubungan balok-kolom persyaratan yang digunakan sesuai dengan SNI 2847 – 2013 pasal 21.7, sedangkan untuk perencanaan kekuatan geser hubungan balok-kolom yang menahan pengaruh gaya lateral sesuai dengan SNI 2847 – 2013 pasal 21.7.4 yang memenuhi sistem rangka pemikul momen khusus yaitu:

1. Persyaratan Gaya dan Geometri
 - Gaya-gaya pada tulangan lentur ditentukan berdasarkan $1,25f_y$.
 - Faktor reduksi diambil sebesar 0,8.
 - Untuk beton normal, $\text{dimensi}_{\text{kolom}} > 20d_{b, \text{ balok}}$.
 - Untuk beton ringan, $\text{dimensi}_{\text{kolom}} > 26d_{b, \text{ balok}}$.
2. Persyaratan Tulangan Transversal
 - Tulangan transversal seperti sengkang tertutup harus dipasang juga di daerah hubungan balok-kolom (HBK).
 - Bila $b_{\text{balok}} = \frac{3}{4} b_{\text{kolom}}$ maka tulangan transversal harus dipasang $\frac{1}{2}$ dari yang dipasang di daerah sendi plastis kolom. Tulangan transversal ini harus dipasang mulai dari sisi terbawah balok yang merangka ke hubungan tersebut. Spasi tulangan transversal pada kondisi ini dapat diperbesar menjadi 150 mm.
3. Kekuatan Geser
 - Untuk beton berat normal, V_{jn} tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai :
 - Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka $1,7 \sqrt{f_c} A_j$
 - Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan... $1,2 \sqrt{f_c} A_j$
 - Untuk kasus-kasus lainnya $1,0 \sqrt{f_c} A_j$



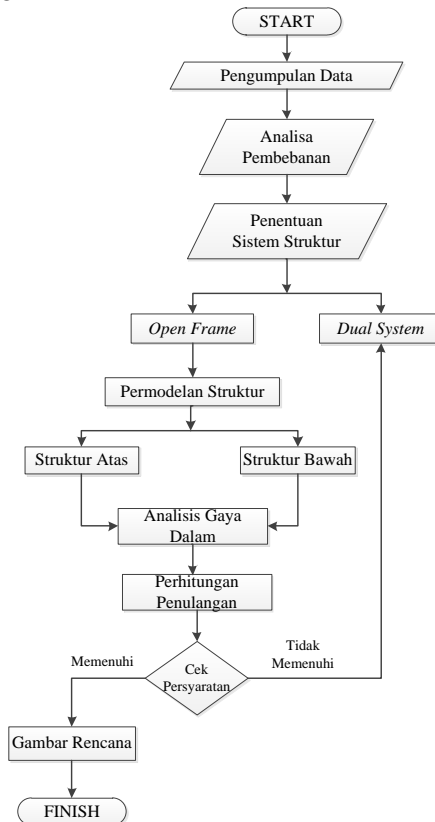
Gambar 2. 15 Luas Joint Efektif

- Lebar joint efektif kolom tidak boleh melebihi dari :
 - $b + h$
 - $b + 2x$
- 4. Panjang Penyaluran Batang Tulangan dalam Kondisi Tarik
 - Bila digunakan tulangan berkait, untuk Ø10 mm – D36 mm maka $l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_{c'}}} > 8d_b$, 150 mm untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton normal.
 - Bila digunakan tulangan tanpa kait, untuk Ø10 mm – D36 mm maka $l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_{c'}}$ tidak boleh diambil lebih kecil dari :
 - $2,5l_{dh}$ (bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut kurang dari 300 mm) dan
 - $3,5l_{dh}$ (bila ketebalan pengecoran beton di bawah tulangan tersebut melebihi 300 mm).

BAB III

METODOLOGI

Metodologi dalam Perencanaan Struktur Gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS ITS Surabaya dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah mengikuti bagan alur sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Flowchart Perencanaan Struktur Bangunan

3.1 Pengumpulan Data

Data perencanaan meliputi :

1. Data Bangunan

Nama Proyek : Gedung Bengkel dan Laboratorium
PPNS

Lokasi Proyek : Jl. Teknik Kimia Keputih Surabaya

Jumlah Lantai : 8 lantai

Tinggi Bangunan : 34.00 m

Struktur Atap : Pelat beton

Struktur Bangunan : Beton bertulang

2. Data Tanah

Data tanah didapatkan dari penyelidikan tanah yang dilakukan oleh laboratorium Uji Tanah Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS.

3. Data Gambar

Data gambar meliputi gambar denah, gambar tampak, dan gambar potongan

4. Data Bahan

Mutu Beton (f_c') : 30 MPa

Mutu Baja tulangan geser (f_y) : 240 MPa

Mutu Baja tulangan lentur (f_y) : 400 MPa

5. Peraturan-peraturan yang digunakan

Tabel 3. 1 Peraturan yang Digunakan

NO.	PERATURAN	TENTANG
1	SNI 2847-2013	Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
2	SNI 1726-20112	Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
3	SNI 1727-2013	Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain

4	Peta Hazard 2010	Peta Hazard Gempa Indonesia 2010
5	PBBI 1971	Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971

3.2 Analisa Pembebanan

Perhitungan beban-beban yang bekerja pada struktur berdasarkan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 03-1727-2013).

3.2.1 Beban Mati

Penentuan beban mati struktur bangunan sebagai berikut :

- a. Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari :
 - Beban sendiri pelat
 - Beban keramik
 - Beban spesi
 - Beban plafond dan penggantung
 - Beban pemipaan air bersih dan kotor
 - Beban instalasi listrik
- b. Beban mati pada balok, terdiri dari :
 - Berat sendiri balok
 - Beban mati pelat atap/ pelat lantai
 - Beban dinding
 - Beban acian
- c. Beban mati pada atap, terdiri dari :
 - Beban sendiri pelat
 - Beban aspal
 - Beban plafond dan penggantung
 - Beban pemipaan air bersih dan kotor
 - Beban instalasi listrik
- d. Beban mati pada tangga, terdiri dari :

- Beban sendiri pelat tangga
- Beban anak tangga
- Berat sendiri pelat bordes
- Beban keramik
- Beban spesi
- Beban hand-railling

3.2.2 Beban Hidup

Beban hidup struktur bangunan ditentukan sebagai berikut :

- a. Beban hidup pada atap gedung :
 - ⇒ Ditentukan berdasarkan SNI 03-1727-2013 pasal 4.8.2
- b. Beban hidup pada lantai gedung :
 - ⇒ Ditentukan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 pada tabel 4-1
- c. Beban hidup pada tangga
 - ⇒ Ditentukan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 pasal 4.5.4.

3.2.3 Beban gempa

- ⇒ Ditentukan dengan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726-2012).

3.3 Pemodelan Struktur

1. Lingkup Perencanaan

Struktur bangunan yang akan dianalisa dalam perencanaan bangunan gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS ITS Surabaya ini diantaranya yaitu sebagai berikut :

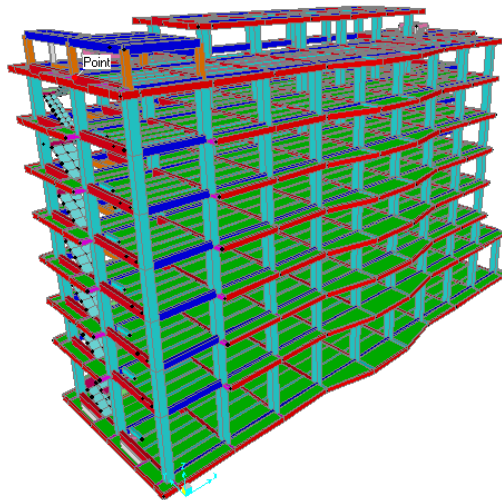
- a. Struktur Primer
 - Balok
 - Kolom
- b. Struktur Sekunder
 - Pelat

- Tangga

2. Deskripsi Model Bangunan

Struktur bangunan gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS ITS Surabaya dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi, pada perencanaan ini bangunan gedung Hotel memiliki 8 lantai dengan diasumsikan perletakan jepit pada dasar gedung guna mendapatkan gaya untuk melakukan perhitungan pada struktur pondasi.

Pada bagian atap gedung ini menggunakan pelat beton. Pembebanan yang terjadi pada pelat lantai, pelat atap dan pelat tangga dibedakan karena memiliki tebal yang berbeda.



Gambar 3. 2Model Perencanaan Struktur Gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

3.4 Analisa Gaya Dalam

Nilai gaya dalam diperoleh dari program bantuan SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut :

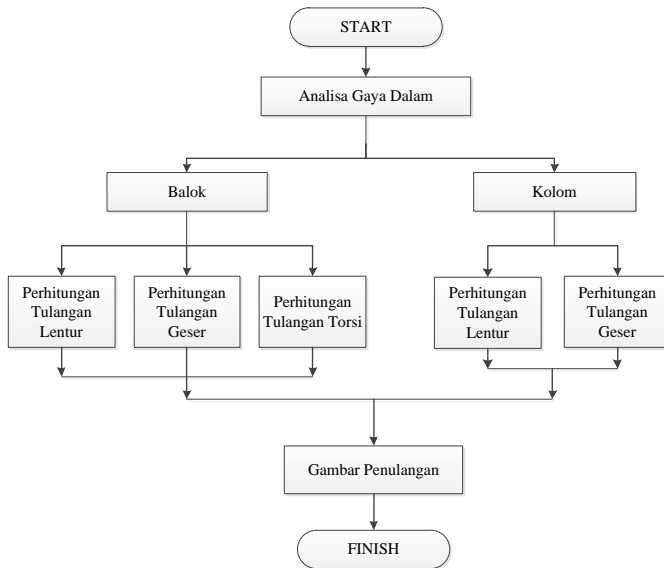
1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5. $0,9 D + 1,6 W$
6. $1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$
7. $0,9 D + 1,0 E$

Dari kombinasi pembebanan yang telah di input pada permodelan struktur SAP 2000 diambil nilai yang terbesar untuk mengetahui tulangan sesuai dengan gaya maksimum yang terjadi.

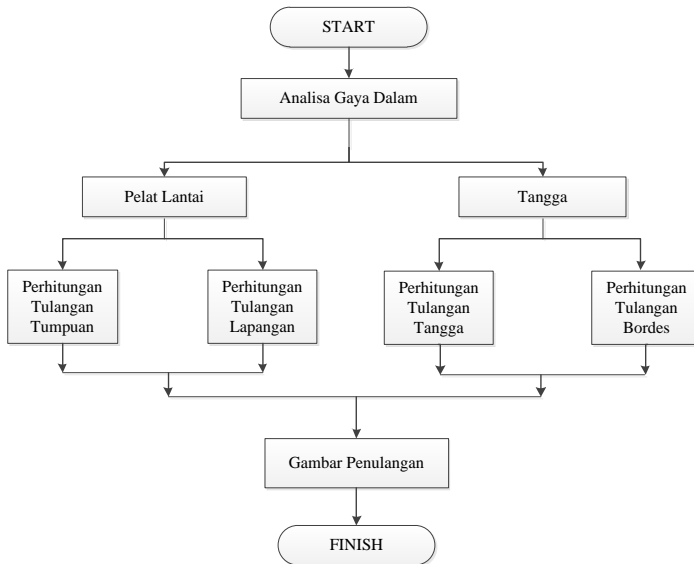
3.5 Perhitungan Tulangan

Penulangan dihitung berdasarkan SNI 2847-2013 dengan memperhatikan standar penulangan-penulangan serta menggunakan data-data yang diperoleh dari output SAP 2000. Perhitungan penulangan dilakukan pada struktur sekunder dan primer yakni : pelat, tangga, balok dan kolom.

Langkah-langkah merencanakan tulangan pada struktur :



Gambar 3.3 Flowchart Perhitungan Struktur Primer



Gambar 3.4 Flowchart Perhitungan Struktur Sekunder

3.6 Gambar Perencanaan

a) Gambar arsitektur, terdiri dari :

- ✓ Gambar denah
- ✓ Gambar tampak

b) Gambar struktural, terdiri dari :

- ✓ Gambar potongan
 - Memanjang
 - Melintang
- ✓ Gambar denah
 - Sloof
 - Pelat
 - Balok
 - Kolom

✓ Gambar penulangan

- Sloof
- Pelat
- Balok
- Kolom

✓ Gambar detail

Gambar detail panjang penyaluran meliputi :

- Panjang penyaluran pelat dan tangga
- Panjang penyaluran balok
- Panjang penyaluran kolom

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

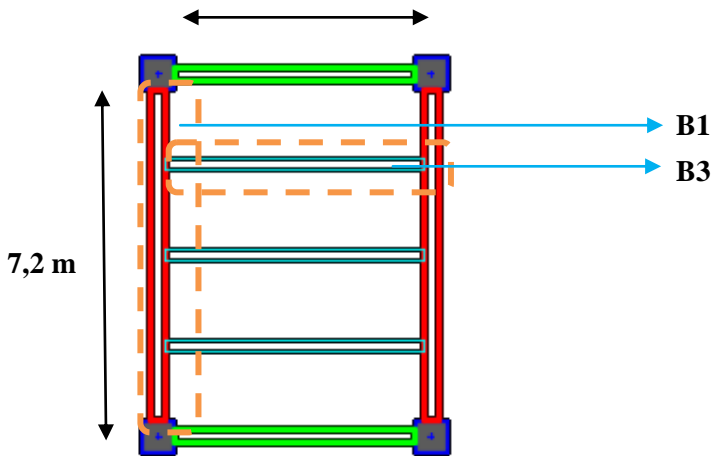
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Preliminary Design

Tahap pertama dalam perencanaan struktur gedung Bengkel dan Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yaitu merencanakan dimensi elemen struktur (preliminary design). Adapun dimensi elemen struktur yang direncanakan yaitu balok, sloof, pelat, dan kolom berdasarkan SNI 03-2847-2013.

4.1.1. Perencanaan Dimensi Balok



B1 = Balok Induk

B3 = Balok Anak

Gambar 4. 1 Denah Rencana Balok

Perencanaan tinggi balok (h_{balok}) dihitung berdasarkan persyaratan tebal minimum balok non-prategang yang di isyaratkan pada SNI 03-2847-2013 tabel 9.5a yaitu:

a. Balok Induk

Data perencanaan :

- Tipe Balok = B1 (As5/B-E)
- Lokasi Tinjauan = Lantai 2
- Bentang Balok (L_b) = 720 cm

Perencanaan Dimensi

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{1}{16} \times L_b \\ &= \frac{1}{16} \times 720 \text{ cm} \\ &= 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{pakai}} &= \frac{1}{12} \times L_b \\ &= \frac{1}{12} \times 720 \text{ cm} \\ &= 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$h_{\text{pakai}} = 70 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{2} \times h_b \\ &= \frac{1}{2} \times 70 \text{ cm} \\ &= 35 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{\text{pakai}} = 35 \text{ cm}$$

b. Balok Anak

Data perencanaan :

- Tipe Balok = B3
- Lokasi Tinjauan = Lantai 2
- Bentang Balok (L_b) = 540 cm

Perencanaan Dimensi

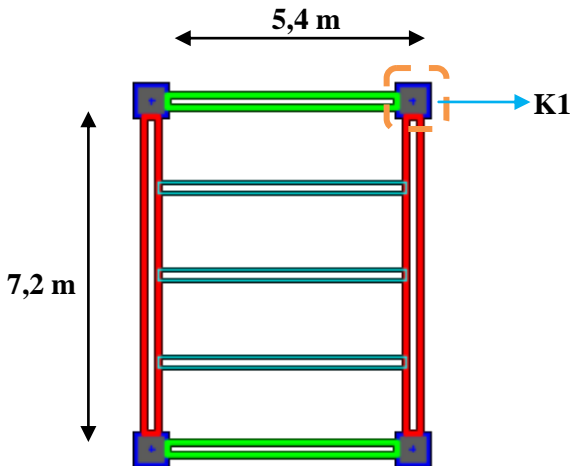
$$h_{\min} = \frac{1}{21} \times L_b$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{21} \times 540 \text{ cm} \\
 &= 25,71 \text{ cm} \\
 h_{\text{pakai}} &= 40 \text{ cm} \\
 b &= \frac{1}{2} \times h_b \\
 &= \frac{1}{2} \times 40 \text{ cm} \\
 &= 20 \text{ cm} \\
 b_{\text{pakai}} &= 25 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

4.1.2. Perencanaan Dimensi Kolom

Komponen struktur kolom direncanakan kolom kuat balok lemah (*strong coloumn, weak beam*) berdasarkan PBBI 1989 pasal 13.7.4.1 yaitu:

$$\frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} > \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}$$



Gambar 4. 2Denah Rencana Kolom

Data perencanaan :

- Tipe Kolom = K1 (As 5/B)

- Lokasi Tinjauan = Lantai 1
- Bentang Kolom (L_k) = 600 cm
- Bentang Balok (L_b) = 720 cm
- Dimensi Balok = 35/70

Perencanaan Dimensi

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} > \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

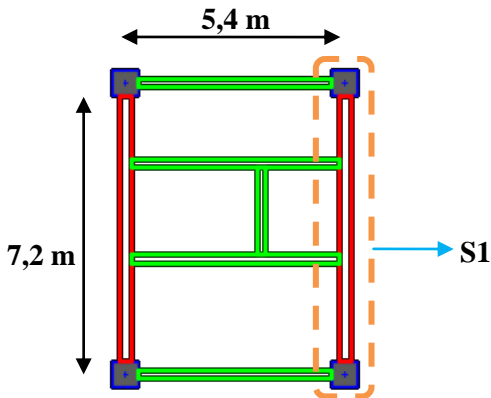
$$\begin{aligned} I_{kolom} &= \frac{L_{kolom} \times I_{balok}}{L_{balok}} \\ &= \frac{600 \text{ cm} \times \left(\frac{1}{12} \times 35 \text{ cm} \times (70 \text{ cm})^3\right)}{720 \text{ cm}} \\ &= 833681 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Dimisalkan $b_{kolom} = h_{kolom}$

$$\begin{aligned} I_{kolom} &= \frac{1}{12} \times b_{kolom} \times h_{kolom}^3 \\ h_{kolom} &= \sqrt[4]{12 \times I_{kolom}} \\ &= \sqrt[4]{12 \times 833681 \text{ cm}^4} \\ &= 56 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{kolom} = h_{kolom} = 70 \text{ cm}$$

4.1.3. Perencanaan Dimensi Sloof



Gambar 4. 3 Denah Rencana Sloof

Data perencanaan :

- Tipe Sloof = S1 (As 5/B-E)
- Lokasi Tinjauan = Lantai Dasar
- Bentang Sloof (L_s) = 720 cm
- Bentang Balok (L_b) = 720 cm
- Dimensi Balok = 40/60

Perencanaan Dimensi

$$\frac{I_{sloof}}{L_{sloof}} > \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

$$\begin{aligned} I_{sloof} &= \frac{L_{sloof} \times I_{balok}}{L_{balok}} \\ &= \frac{720 \text{ cm} \times \left(\frac{1}{12} \times 35 \text{ cm} \times (70 \text{ cm})^3\right)}{720 \text{ cm}} \\ &= 1000417 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Dimisalkan $b_{sloof} = h_{sloof}$

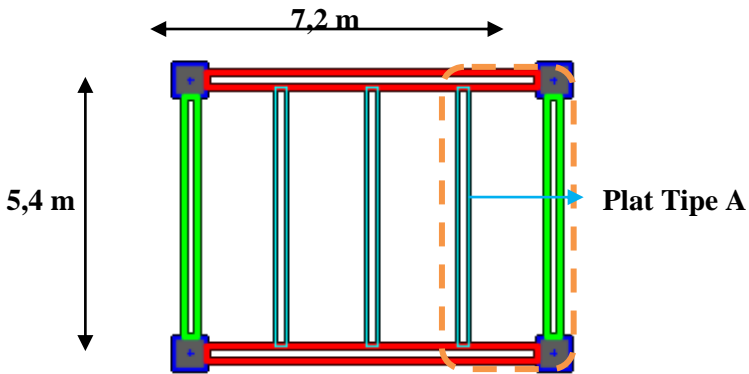
$$\begin{aligned} I_{sloof} &= \frac{1}{12} \times b_{sloof} \times h_{sloof}^3 \\ h_{sloof} &= \sqrt[4]{12 \times I_{kolom}} \\ &= \sqrt[4]{12 \times 1000417 \text{ cm}^4} \\ &= 54,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$h_{pakai} = 70 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{2} \times h_k \\ &= \frac{1}{2} \times 70 \text{ cm} \\ &= 35 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$b_{pakai} = 35 \text{ cm}$$

4.1.4. Perencanaan Dimensi Pelat



Gambar 4. 4Denah Rencana Pelat

Data Perencanaan :

- Tebal rencana = 12 cm
- F_c' = 30 MPa
- F_y = 400 MPa
- Dimensi B1 = 35/70
- Dimensi B2 = 30/60
- Dimensi B3 = 25/40

Perencanaan Dimensi

- Bentang bersih sumbu panjang (l_n)

$$l_n = I_y - \left(\frac{B1}{2}\right) - \left(\frac{B1}{2}\right)$$

$$l_n = 5400 - \left(\frac{350}{2}\right) - \left(\frac{350}{2}\right)$$

$$l_n = 5050 \text{ mm}$$
- Bentang bersih sumbu panjang (S_n)

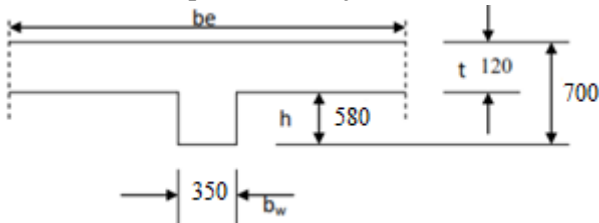
$$S_n = I_x - \left(\frac{B2}{2}\right) - \left(\frac{B2}{2}\right)$$

$$S_n = 1800 - \left(\frac{300}{2}\right) - \left(\frac{250}{2}\right)$$

$$S_n = 1525 \text{ mm}$$

$$\text{Maka, } \beta = \frac{I_n}{S_n} = \frac{5050}{1525} = 3,31$$

- Lebar efektif pada balok 4 joint B - E



$$Be = bw + 2hw$$

$$Be = 350 + 2(580)$$

$$Be = 1510 \text{ mm}$$

$$Be = bw + 8hf$$

$$Be = 350 + 8(120)$$

$$Be = 1310 \text{ mm}$$

Maka dipilih nilai Be terkecil = 1310 mm

- Kekakuan pada balok memanjang

$$k = \frac{1 + \left\{ \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right] \right\}}{1 + \left[\left(\frac{be}{bw} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \right]}$$

$$k = \frac{1 + \left\{ \left(\frac{1310}{350} - 1 \right) \left(\frac{120}{580} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{120}{580} \right) + 4 \left(\frac{120}{580} \right)^2 + \left(\frac{1310}{350} - 1 \right) \left(\frac{120}{580} \right)^3 \right] \right\}}{1 + \left[\left(\frac{1310}{350} - 1 \right) \left(\frac{120}{580} \right) \right]}$$

$$k = 3,03$$

- Momen Inersia Penampang T

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{bw \times h^3}{12} \\ &= 3,24 \times \frac{350 \times 700^3}{12} \\ &= 30304266548 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Momen Inersia Lajur Pelat

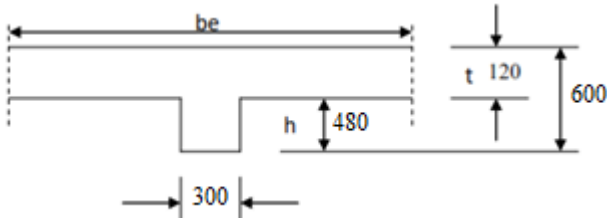
$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{b p \times t^3}{12} = \frac{(0,5 I_x + I_y) \times t^3}{12} \\
 &= \frac{(0,5 \times (1800 + 5400)) \times 120^3}{12} \\
 &= 518400000 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan terhadap pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{I_b}{I_p} \\
 &= \frac{30304266548}{518400000} \\
 &= 58,457
 \end{aligned}$$

Maka, α_1 dan $\alpha_3 = 58,457$

- Lebar efektif pada balok B joint 4 - 5



$$Be = b_w + 2h_w$$

$$Be = 300 + 2(480)$$

$$Be = 1260 \text{ mm}$$

$$Be = b_w + 8h_f$$

$$Be = 300 + 8(120)$$

$$Be = 1260 \text{ mm}$$

Maka dipilih nilai Be terkecil = 1260 mm

- Kekakuan pada balok memanjang

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left\{ \left(\frac{be}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h} \right) + 4 \left(\frac{t}{h} \right)^2 + \left(\frac{be}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right)^3 \right] \right\}}{1 + \left[\left(\frac{be}{b_w} - 1 \right) \left(\frac{t}{h} \right) \right]} \\
 k &= \frac{1 + \left\{ \left(\frac{1260}{300} - 1 \right) \left(\frac{120}{480} \right) \left[4 - 6 \left(\frac{120}{480} \right) + 4 \left(\frac{120}{480} \right)^2 + \left(\frac{1260}{300} - 1 \right) \left(\frac{120}{480} \right)^3 \right] \right\}}{1 + \left[\left(\frac{1260}{300} - 1 \right) \left(\frac{120}{480} \right) \right]}
 \end{aligned}$$

$$k = 3,24$$

a. Momen Inersia Penampang T

$$\begin{aligned} I_b &= k \times \frac{bw \times h^3}{12} \\ &= 3,24 \times \frac{300 \times 600^3}{12} \\ &= 17496000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

b. Momen Inersia Lajur Pelat

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{bp \times t^3}{12} = \frac{(0,5 I_x + I_y) \times t^3}{12} \\ &= \frac{(0,5 \times (1800 + 5400)) \times 120^3}{12} \\ &= 518400000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Rasio kekakuan terhadap pelat

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{I_b}{I_p} \\ &= \frac{17496000000}{518400000} \\ &= 33,750 \end{aligned}$$

Maka, α_2 dan $\alpha_4 = 33,750$

- Kekakuan balok rata-rata

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = 46,10$$

Ketentuan ketebalan pelat berdasarkan SNI 03-2874-2013 Pers 9-13.

Untuk $\alpha_m > 2,0$ ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

Maka,

$$\begin{aligned} h &= \frac{5100 \left(0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9(3,31)} \\ &= 84,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tebal pelat (h) tidak boleh kurang dari 90 mm, maka h pakai = 120 mm

4.2. Perhitungan Pembebanan

4.2.1. Beban Mati

Beban mati struktur bangunan ditentukan sebagai berikut :

- a. Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari :
 - Beban sendiri pelat
 - Beban keramik (ukuran 30x30) = 15 kg/m²
 - Beban spesi (t = 2 mm)
(Mu-450 Perekat Keramik Lantai) = 25 kg/m²
 - Beban plafond rangka hollow = 8,51 kg/m²
 - Beban pemipaan air bersih dan kotor = 25 kg/m²
 - Beban instalasi listrik = 40 kg/m²
- b. Beban mati pada balok, terdiri dari :
 - Berat sendiri balok
 - Beban mati pelat atap/ pelat lantai
 - Beban dinding
(Bata Ringan Citicon t = 10 cm) = 60 kg/m²
 - Beban acian (t = 1,5 mm)
(Mu-200 Acian Plesteran) = 2 kg/m²
- c. Beban mati pada atap, terdiri dari :
 - Berat sendiri pelat
 - Beban aspal (t = 20 mm)
(Cold Mix Asphalt) = 33,33 kg/m²
 - Beban plafond rangka hollow = 8,51 kg/m²
 - Beban pemipaan air bersih dan kotor = 25 kg/m²
 - Beban instalasi listrik = 40 kg/m²
- d. Beban mati pada tangga, terdiri dari :
 - Beban sendiri pelat tangga
 - Beban anak tangga

- Berat sendiri pelat bordes
- Beban keramik (ukuran 30x30) = 15 kg/m^2
- Beban spesi ($t = 2 \text{ mm}$)
(Mu-450 Perakat Keramik Lantai) = 25 kg/m^2
- Beban hand-railling = 10 kg/m^2

4.2.2. Beban Hidup

Beban hidup dari fungsi bangunan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 tabel 4-1

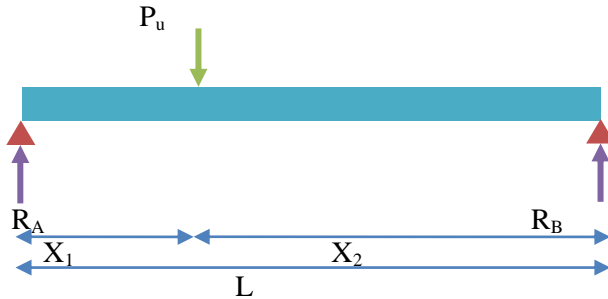
- a. Beban hidup pelat lantai bengkel = 400 kg/m^2
- b. Beban hidup pelat lantai laboratorium = 287 kg/m^2
- c. Beban hidup pelat atap = 96 kg/m^2
- d. Beban hidup pada tangga = 133 kg/m^2
 \Rightarrow Beban dari fungsi bangunan sesuai dengan SNI 03-1727-2013 pasal 4.5.4 yang dibebani setiap jarak 3048 mm dari tinggi tangga.
- e. Beban hidup pada lift
 - Tipe Lift = Passenger Elevator
 - Kapasitas = 15 orang
 - Dimensi = 1900×2300
 - Panjang balok = 2,05 m
 - Beban Reaksi Ruang Mesin :
 $R_1 = 7800 \text{ kg}$
 $R_2 = 6000 \text{ kg}$

Beban Terpusat :

$$R_A = R_1 * K_{LL} = R_1 * (1+50\%) = 8100 \text{ kg}$$

$$R_B = R_2 * K_{LL} = R_2 * (1+50\%) = 4050 \text{ kg}$$

Gaya Dalam pada Balok



Momen :

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_A * L - P_u * X_2 = 0$$

$$P_u = \frac{16605}{X_2}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_B * L + (P_u * (L - X_2)) = 0$$

$$X_2 = 1,367 \text{ m}$$

$$X_1 = L - X_2 = 0,683 \text{ m}$$

$$\therefore P_u = \frac{16605}{1,367} = 12150 \text{ kg}$$

4.2.3. Beban Gempa

Perhitungan beban gempa dengan metode analisa respons spektrum dilakukan dengan menggunakan perhitungan gempa secara manual dan disesuaikan dengan kota dimana bangunan tersebut akan dibangun serta juga menggunakan aplikasi website *puskim.pu.go.id*. Perhitungan beban gempa dihitung sesuai dengan SNI 1726-2012 dan peta Hazard Gempa Indonesia 2010

⇒ Berikut langkah-langkah pembebanan gempa dengan respons spektrum pada SAP 2000

1. Menghitung nilai SPT rata-rata (\bar{N}_{SPT})

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

SNI 1726-2012 pasal 5.4.2 pers. 2

Tabel 4. 1Perhitungan Nilai N-SPT

Data Tanah			
Lapisan ke - i	Tebal Lapisan (m)	Deskripsi Jenis Tanah	Nilai N-SPT
1	12	Lempung, tanah urug	0
2	2	Lanau berpasir	7,5
3	10	Lanau berlempung	14,9
4	2	Lanau berpasir	16
5	5	Lanau berlempung	20,6
6	10	Kerikil, pasir, lanau	20,2
7	20	Lempung berpasir	21

Tabel 4. 2Perhitungan Hasil Nilai N-SPT

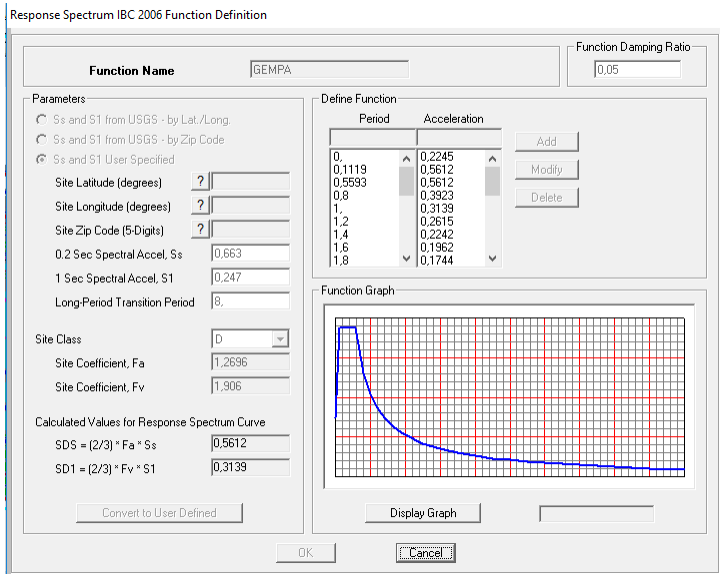
Lapisan Ke - i	Tahanan Penetrasi Standar		
	d_i	N_i	d_i/N_i
1	12	0	0
2	2	7,5	0,267
3	10	14,9	0,671
4	2	16	0,125
5	5	20,6	0,243
6	10	20,2	0,495
7	20	21	0,952
Total	61	100	2,753

$$\Rightarrow \bar{N} = \frac{61}{2,753} = 22,16$$

2. Menentukan Kelas Situs Tanah sesuai Tabel 3 pada SNI 1726-2012.

⇒ Untuk nilai $\bar{N} = 22,16$ maka dikategorikan SD (tanah sedang) dengan syarat nilai $15 < \bar{N} < 50$

3. Mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan website *puskim.pu.go.id* untuk daerah Surabaya selanjutnya mengatur tipe respon spektrum dengan IBC 2006, $S_s = 0,663$ dan $S_1 = 0,247$, Site Class = D. Kemudian pada SAP 2000 akan terbentuk respons spektrum seperti berikut



Gambar 4. 5 Grafik Spektrum Respons Gempa 2500 tahun

4. Menentukan Koefisien Situs Periode 0,2 detik (F_a) dan Koefisien Situs Periode 1 detik (F_v) berdasarkan website *puskim.pu.go.id*

→ Berdasarkan website tersebut diketahui nilai $F_a = 1,27$ dan $F_v = 1,91$.

5. Menentukan parameter spektrum respons percepatan pada periode 0,2 detik (S_{MS}).

$$\rightarrow S_{MS} = F_a \times S_s = 1,27 \times 0,663 = 0,842$$

SNI 1726-2012 pasal 6.2 pers 5

6. Menentukan parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik (S_{M1}).

$$\rightarrow S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,91 \times 0,247 = 0,471$$

SNI 1726-2012 pasal 6.2 pers 6

7. Menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode 0,2 detik (S_{DS}).

$$\rightarrow S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,842 = 0,561$$

SNI 1726-2012 pasal 6.3 pers 7

8. Menentukan parameter percepatan spektral desain untuk periode 0,2 detik (S_{D1}).

$$\rightarrow S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,471 = 0,314$$

SNI 1726-2012 pasal 6.3 pers 8

9. Menentukan KDS (Kategori Desain Seismik) sesuai Tabel 6 dan Tabel 7 pada SNI 1726-2012. Kemudian menentukan kategori resiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa sesuai Tabel 1 pada SNI 1726-2012.

→ Fungsi bangunan perencanaan ini adalah Fasilitas Pendidikan, maka tergolong dalam kategori resiko IV.

→ Berdasarkan tabel 6 dengan nilai $S_{DS} = 0,561$ dan tergolong dalam kategori resiko IV didapat KDS D.

→ Berdasarkan tabel 7 dengan nilai $S_{D1} = 0,314$ dan tergolong dalam kategori resiko IV didapat KDS D.

10. Menentukan koefisien modifikasi respon (R) sebesar 8, faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar $5\frac{1}{2}$, dan faktor kuat lebih sistem (Ω_0) sebesar 3 untuk tinjauan SRPMK berdasarkan SNI 1726-2012 Tabel 9.

Tabel 4. 3 Tabel Pemilihan Sistem Struktur dan Parameter Sistem

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R	Faktor kuatlebih sistem, Ω_0	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan Tinggi struktur h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
C.Sistem rangka pemikul momen								
(C.5). Rangka beton bertulang pemikul momen khusus (Gambar 6)	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
(C.6). Rangka beton bertulang pemikul momen menengah (Gambar 5)	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
(C.7). Rangka beton bertulang pemikul momen biasa (Gambar 4)	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

11. Mengatur pembebanan response spektrum pada SAP 2000.

$$LoadFactor = \frac{1}{R} g$$

R = 8 untuk sistem rangka pemikul momen khusus

Load factor tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan dikenakan gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau.

4.3. Kontrol Struktur

4.3.1. Kontrol Periode Fundamental Struktur

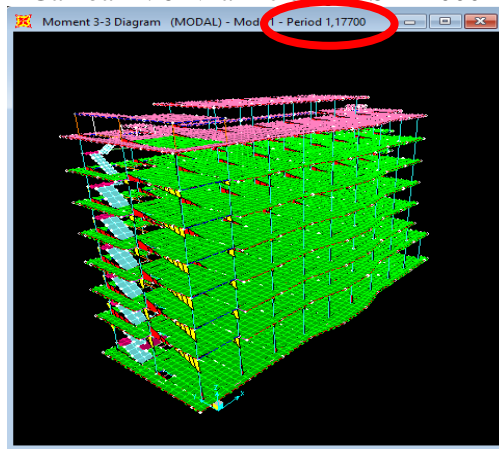
Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

dengan batas atas perioda fundamental struktur sebesar,

$$T_{a\ atas} = C_u \cdot T_a$$

Gambar 4. 6 Nilai Tc output SAP2000



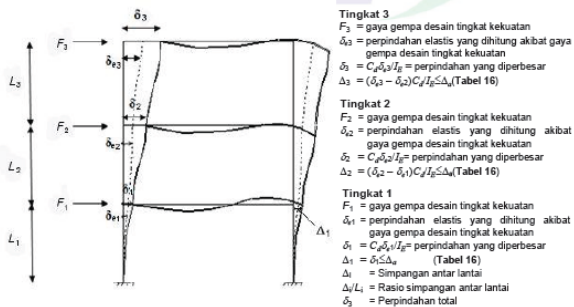
$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0466 (34^{0,9}) = 1,11357$$

$$C_u \cdot T_a = 1,4 \cdot 1,11357 = 1,5590$$

$$\therefore T_a < T_c < C_u \cdot T_a = 1,11357 < 1,17700 < 2,66545$$

4.3.2. Kontrol Simpangan antar Lantai

Simpangan antar lantai tingkat (Δ), akibat gempa yang ditinjau dengan analisa elastis, tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a)



Gambar 4. 7 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Defleksi pusat massa di tingkat, δ_x (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

⇒ Terhadap sumbu x

Lantai	Elevasi	Tinggi Antar	δ_e (mm)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	δ_a (mm)	Ket
	(m)	(m)	Output SAP	Δ tiap Lantai	$C_d \times \delta_{xe} / I$	(0,015 x Elv.)	
Dasar	0.00	0	0	0	0	0	OK
1	1.00	1	0.319	0.319	1.17	15	OK
2	7.00	6	9.313	8.994	32.98	90	OK
3	11.00	4	15.187	6.193	22.71	60	OK
4	15.00	4	20.417	14.224	52.15	60	OK
5	19.00	4	21.997	7.773	28.50	60	OK
6	23.00	4	22.645	14.872	54.53	60	OK
7	27.00	4	24.423	9.551	35.02	60	OK
8	31.00	4	24.997	15.446	56.64	60	OK
Atap	34.00	3	25.999	10.553	38.69	45	OK

⇒ Terhadap sumbu y

Lantai	Elevasi	Tinggi Antar	δ_e (mm)	δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	δ_a (mm)	Ket
	(m)	(m)	Output SAP	Δ tiap Lantai	$C_d \times \delta_{xe} / I$	(0,015 x Elv.)	
Dasar	0.00	0	0	0	0.000	0	OK
1	1.00	1	0.407	0.407	1.492	15	OK
2	7.00	6	12.06	11.653	42.728	90	OK
3	11.00	4	19.403	7.75	28.417	60	OK
4	15.00	4	20.994	13.244	48.561	60	OK
5	19.00	4	21.996	8.752	32.091	60	OK
6	23.00	4	22.993	14.241	52.217	60	OK
7	27.00	4	24.981	10.74	39.380	60	OK
8	31.00	4	25.976	15.236	55.865	60	OK
Atap	34.00	3	26.924	11.688	42.856	45	OK

4.3.3. Kontrol Gaya Geser Dasar Gempa

Kontrol gaya dinamis struktur untuk melihat apakah gaya gempa yang dimasukkan dengan menggunakan response spectrum sudah sesuai dengan yang disyaratkan oleh SNI 1726.2012

$$V = C_s \cdot W_t$$

Penentuan koefisien C_s adalah sebagai berikut :

1. C_s

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

2. C_s maksimum

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)}$$

harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot (0,561) \cdot (1,5) \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,037026 \geq 0,01$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,561}{\left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,105$$

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,314}{1,177 \left(\frac{8}{1,5} \right)} = 0,050$$

$$\therefore C_{s \min} < C_s < C_{s \max} = 0,037 < 0,105 > 0,050$$

$$\rightarrow C_s \text{ pakai} = 0,050$$

$$W_t = 8088255,6 \text{ kg}$$

$$\text{Gempa arah x} = 218765,1 \text{ kg}$$

$$\text{Gempa arah y} = 203177,0 \text{ kg}$$

$$V_{static} = C_s \cdot W_t = 0,050(8088255,6) = 404397,3 \text{ kg}$$

$$0,85V_{static} = 343737,7 \text{ kg}$$

$$\therefore V_{baseshear} > V_{static}$$

$$\therefore 203177,0 > 343737,7 (\text{tidak memenuhi})$$

Dikarenakan ketentuan $V_{baseshear} > 0,85 V$ belummenuhi sehingga diperlukan faktor perbesarangempa sebesar:

$$FS_x = \frac{343737,7}{218765,1} = 1,571 \text{ untuk gempa arah x}$$

$$FS_y = \frac{343737,7}{203177,03} = 1,692 \text{ untuk gempa arah y}$$

Setelah pada program bantu SAP 2000 faktor pembebanan gempa diatas dimasukkan, dapat diperoleh hasil sebagai berikut :

$$W_t = 8088255,6 \text{ kg}$$

$$\text{Gempa arah x} = 345653,6 \text{ kg}$$

$$\text{Gempa arah y} = 345405,7 \text{ kg}$$

$$V_{static} = C_s \cdot W_t = 0,050(8088255,6) = 404397,3 \text{ kg}$$

$$0,85V_{static} = 343737,7 \text{ kg}$$

$$\therefore V_{baseshear} > V_{static}$$

$$\therefore 345405,7 > 343737,7 (\text{memenuhi})$$

4.4. Perencanaan Struktur Sekunder

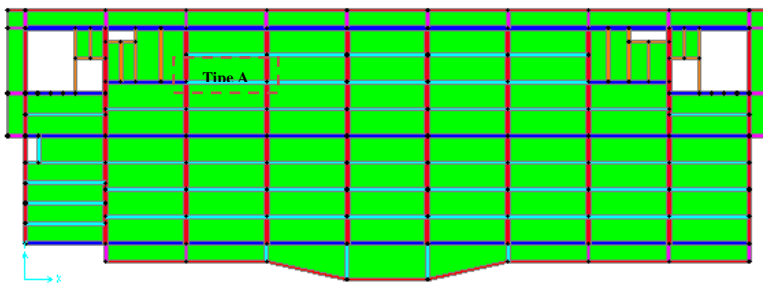
4.4.1. Perhitungan Pelat

Penulangan pada pelat didasari oleh sistem arah momen dalam membagi beban-beban yang ditimpakan pada pelat. Untuk pelat beton bertulang, terdapat dua tipe pelat yaitu pelat satu arah (one way slab) dan pelat dua arah (two way slab). Sedangkan dalam proyek Gedung Bengkel dan Laboratorium yang digunakan yaitu pelat satu arah (one way slab).

Penulangan Pelat Lantai Lobby Tipe b

$$I_y / I_x = 540 \text{ cm} / 180 \text{ cm}$$

$$= 3 > 2,0 \rightarrow \text{One Way Slab}$$



Gambar 4. 8 Sketsa Denah Lantai Laboratorium Tipe A

Pada penulangan pelat satu arah (one way slab) terdapat tulangan pokok yang dipasang pada satu arah saja karena momen lentur hanya terjadi pada satu arah yaitu bentang terpanjang. Namun pada daerah tumpuan, tulangan pokok dibantu dengan tulangan bagi / tulangan susut.

Perhitungan struktur pelat lantai bertujuan untuk mencari diameter dan jarak tulangan utama dan tulangan susut. Tulangan utama dihitung berdasarkan momen lentur yang bekerja pada pelat. Untuk tulangan susut dihitung berdasarkan batasan penulangan susut pada SNI-2847-2013 pasal 7.12.2.1.

a. Data Perencanaan:

1. Tebal Pelat	12	cm
2. Tebal Selimut Pelat (ts)	3	cm
3. F_c'	30	MPa
4. BJ Beton	2400	kg/m ³
5. F_y Lentur	400	MPa
6. Φ	0,9	

b. Pembebanan pada pelat lantai

Beban mati (q_d)

1. Berat sendiri pelat	= 2400 kg/m ³ x h
	= 2400 kg/m ³ x 0,12 m
	= 288 kg/m ²
2. Keramik	= 15 kg/m ²
3. Perekat Keramik	= 25 kg/m ²
4. Plafond rangka hollow	= 8,51 kg/m ²
5. Pemipaan air	= 25 kg/m ²
6. Instalasi listrik	= 40 kg/m ² +
Maka, q_d Total	<hr/> = 401,5 kg/m ²

Beban hidup (q_L)

Fungsi bangunan pada pelat lantai tipe A adalah laboratorium

$$q_L = 287 \text{ kg/m}^2$$

maka, beban ultimate (q_u)

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2 (401,5 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (287 \text{ kg/m}^2) \\ &= 941,012 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

 \Rightarrow Koefisien penentu penulangan

- Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'}$$

$$m = \frac{400MPa}{0,85 \times 30MPa}$$

$$m = 15,686$$

- Nilai β_1
 Reduksi β_1 sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa diatas 28 MPa
 SNI 03-2874-2013 Pasal 10.2.7.3

Mutu beton pakai (f_c') = 30 MPa, kenaikan 2 MPa dari 28 MPa.

Maka, nilai reduksi untuk $f_c' = 30$ MPa adalah

$$\frac{2MPa}{7MPa} = \frac{x}{0,05}$$

$$x = \frac{2MPa \cdot 0,05}{7MPa}$$

$$x = 0,014286$$

$$\beta_1 = 0,85 - x$$

$$\beta_1 = 0,85 - (0,014286)$$

$$\beta_1 = 0,8357$$

- Batasan penulangan
 1. $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$

$$= \frac{1,4}{400MPa}$$

$$= 0,0035$$

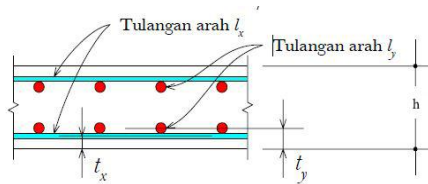
SNI 03-2874-2013 Pasal 10.5.1

$$\begin{aligned}
 2. \rho_b &= \left(\frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right) \\
 &= \left(\frac{0,85 \cdot 0,8357 \cdot 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) \right) \\
 &= 0,031966
 \end{aligned}$$

SNI 03-2874-2013 Pasal B.8.4.2

$$\begin{aligned}
 3. \rho_{maks} &= 0,75\rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,031966 \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

⇒ Tinggi Efektif



Gambar 4. 9 Tinggi Efektif Potongan Pelat

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

Asumsi diameter pakai (D) = 1 cm

Tinggi efektif penulangan

$$dx = h - ts - D/2$$

$$= 12 \text{ cm} - 3 \text{ cm} - (1 \text{ cm}/2)$$

$$= 8,5 \text{ cm} = 85 \text{ mm}$$

$$dy = h - ts - D - D/2$$

$$= 12 \text{ cm} - 3 \text{ cm} - 1 \text{ cm} - (1 \text{ cm}/2)$$

$$= 7,5 \text{ cm} = 75 \text{ mm}$$

a. Menentukan Momen pada Pelat Tipe A

Perhitungan momen pada pelat ditentukan pada perletakan pelat yang diatur dalam PBI 1971.

$$M = 0,001 q_u I_x^2 X$$

Nilai X :

$$\text{Tumpuan x (Tx)} = 125$$

$$\text{Lapangan x (Lx)} = 63$$

$$\text{Tumpuan y (Ty)} = 79$$

$$\text{Lapangan y (Ly)} = 13$$

Maka, momen – momen yang terjadi:

$$\begin{aligned} M_{Tx} &= 0,001 \times 941,012 \times (1,8 \text{ m})^2 \times 125 \\ &= 381,11 \text{ kg.m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Lx} &= 0,001 \times 941,012 \times (1,8 \text{ m})^2 \times 63 \\ &= 192,08 \text{ kg.m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ty} &= 0,001 \times 941,012 \times (1,8 \text{ m})^2 \times 79 \\ &= 240,86 \text{ kg.m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ly} &= 0,001 \times 941,012 \times (1,8 \text{ m})^2 \times 13 \\ &= 39,64 \text{ kg.m/m} \end{aligned}$$

b. Menentukan kebutuhan tulangan pelat

⇒ Tulangan Lapangan X

$$\begin{aligned} Mn_{Lx} &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{192,079 \text{ kg} \cdot \frac{m}{m} \cdot 10^4}{0,9} \\ &= 2134215,216 \text{ N.mm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn}{b(d_x)^2} \\ &= \frac{2134215,216 \text{ N.mm/m}}{1000\text{mm}(85 \text{ mm})^2} \end{aligned}$$

$$=0,2954$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,686) \cdot 0,2954}{400MPa}} \right) \\ &= 0,00074\end{aligned}$$

- Cek batasan ρ

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,0035 \leq 0,00074 \leq 0,024 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka ρ_{perlu} memakai ρ_{\min} sebesar **0,0035**

$$\begin{aligned}\text{Maka, } A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\ &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 85 \text{ mm}^2 \\ &= 297,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \cdot d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{30MPa}}{400MPa} 1000 \text{ mm} \cdot 85 \text{ mm} \\ &= 290,978 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan pakai $\emptyset 10 - 200$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \left(\frac{1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \right) \\ &= 392,70 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek : } A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ min}} \\ 392,70 \text{ mm}^2 &> 290,978 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{maks}} \leq 3h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 10.5.4

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= 3 \cdot h \\ &= 3 \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek : } S_{\text{pakai}} &< S_{\text{maks}} \\ 200 \text{ mm} &< 360 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

atau

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek : } S_{\text{pakai}} &< S_{\text{maks}} \\ 200 \text{ mm} &< 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

⇒ Tulangan Tumpuan X

$$\begin{aligned} M_{n_{Tx}} &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{381,11 \text{ kg} \cdot \frac{m}{m} \cdot 10^4}{0,9} \\ &= 4234554 \text{ N} \cdot \text{mm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b(d_x)^2} \\ &= \frac{4234554 \text{ N} \cdot \text{mm/m}}{1000 \text{ mm} (85 \text{ mm})^2} \\ &= 0,5861 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,686) \cdot 0,5861}{400MPa}} \right) \\
&= \mathbf{0,00148}
\end{aligned}$$

- Cek batasan ρ

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks}$$

$$\mathbf{0,0035 \leq 0,00148 \leq 0,024} \text{(tidak memenuhi)}$$

Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka ρ_{perlu} memakai ρ_{min} sebesar **0,0035**.

$$\begin{aligned}
\text{Maka, } A_s \text{ perlu} &= \rho_{perlu} \cdot b \cdot d_x \\
&= \mathbf{0,0035 \cdot 1000 \cdot 85 \text{ mm}^2} \\
&= 297,5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \cdot d \\
&= \frac{0,25 \sqrt{30MPa}}{400MPa} \mathbf{1000mm \cdot 85mm} \\
&= 290,978 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Tulangan pakai $\emptyset 10 - 200$

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\
&= \frac{1}{4} \pi (\mathbf{10mm})^2 \left(\frac{1000mm}{200mm} \right) \\
&= 392,70 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Cek : $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ min}}$

$$\mathbf{392,70mm^2 > 290,978mm^2} \quad \text{(memenuhi)}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{maks} \leq 3h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 10.5.4

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 3 \cdot h \\ &= 3 \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek : } S_{pakai} &< S_{maks} \\ 200 \text{ mm} &< 360 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{memenuhi})$$

atau

$$S_{maks} < 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek : } S_{pakai} &< S_{maks} \\ 200 \text{ mm} &< 450 \text{ mm} \end{aligned} \quad (\text{memenuhi})$$

⇒ Tulangan Susut arah X

Pada tulangan susut, di gunakan tulangan ulir mutu 400 MPa yang memiliki rasio luas tulangan sebesar 0,0018.

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1 (a)

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_s \text{ perlu} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebalpelat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 120 \text{ mm}^2 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan untuk komponen tulangan susut :

Tulangan pakai Ø8 – 200

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \pi (8 \text{ mm})^2 \left(\frac{1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \right) \\ &= 251,327 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$251,327 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Cek syarat spasi tulangan susut

$$S_{maks} \leq 5h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.2

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= 5 \cdot h \\
 &= 3 \cdot 120 \text{ mm} \\
 &= 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek : } S_{pakai} &< S_{maks} \\
 200 \text{ mm} &< 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &< 450 \text{ mm} \\
 \text{Cek : } S_{pakai} &< S_{maks} \\
 200 \text{ mm} &< 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

⇒ Tulangan Lapangan Y

$$\begin{aligned}
 Mn_{Ly} &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{39,6354 \text{ kg} \cdot \frac{m}{m} \cdot 10^4}{0,9} \\
 &= 440393,616 \text{ N.mm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b(d_x)^2} \\
 &= \frac{440393,616 \text{ N.mm/m}}{1000 \text{ mm}(85 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,0610
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,686) \cdot 0,0610}{400 \text{ MPa}}} \right) \\
 &= 0,00015
 \end{aligned}$$

- Cek batasan ρ

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &\leq \rho_{perlu} \leq \rho_{maks} \\
 0,0035 &\leq 0,00015 \leq 0,024 \quad (\text{tidak memenuhi})
 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka ρ_{perlu} memakai ρ_{min} sebesar **0,0035**

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\
 &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 85 \text{ mm}^2 \\
 &= 297,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \cdot d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{30 \text{ MPa}}}{400 \text{ MPa}} 1000 \text{ mm} \cdot 85 \text{ mm} \\
 &= 290,978 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan pakai $\emptyset 10 - 200$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\
 &= \frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \left(\frac{1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \right) \\
 &= 392,70 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek : } A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ min}} \\
 392,70 \text{ mm}^2 &> 290,978 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan
 $S_{\text{maks}} \leq 3h$ atau $S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$

SNI 2847-2013 Pasal 10.5.4

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= 3 \cdot h \\
 &= 3 \cdot 120 \text{ mm} \\
 &= 360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek : } S_{\text{pakai}} &< S_{\text{maks}} \\
 200 \text{ mm} &< 360 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

atau

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek : } S_{\text{pakai}} &< S_{\text{maks}} \\
 200 \text{ mm} &< 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

⇒ Tulangan Tumpuan Y

$$\begin{aligned}
 M_{nTy} &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{240,861 \text{ kg} \cdot \frac{m}{m} \cdot 10^4}{0,9} \\
 &= 2676238,128 \text{ N} \cdot \text{mm/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mn}{b(d_x)^2} \\
 &= \frac{2676238,128 \text{ N} \cdot \text{mm/m}}{1000 \text{ mm}(85 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,3704
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,686) \cdot 0,3704}{400 \text{ MPa}}} \right) \\
 &= 0,00093
 \end{aligned}$$

- Cek batasan ρ

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,0035 \leq 0,00093 \leq 0,024 \text{ (tidak memenuhi)}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka ρ_{perlu} memakai ρ_{\min} sebesar **0,0035**

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_x \\
 &= 0,0035 \cdot 1000 \cdot 85 \text{ mm}^2 \\
 &= 297,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \cdot d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{30 \text{ MPa}}}{400 \text{ MPa}} 1000 \text{ mm} \cdot 85 \text{ mm} \\
 &= 290,978 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan pakai $\emptyset 10 - 200$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\
 &= \frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \left(\frac{1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \right) \\
 &= 392,70 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek : $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ min}}$

$$392,70 \text{ mm}^2 > 290,978 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{maks}} \leq 3h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 10.5.4

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= 3 \cdot h \\
 &= 3 \cdot 120 \text{ mm} \\
 &= 360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek : $S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$

$$200 \text{ mm} < 360 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

atau

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

Cek : $S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

⇒ Tulangan Susut Y

Pada tulangan susut, di gunakan tulangan ulir mutu 400 MPa yang memiliki rasio luas tulangan sebesar 0,0018.

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1 (a)

$$\text{Maka, } A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebalpelat}$$

$$= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 120 \text{ mm}^2$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

- Cek kebutuhan tulangan untuk komponen tulangan susut :
Tulangan pakai $\varnothing 8 - 200$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s)$$

$$= \frac{1}{4} \pi (8 \text{ mm})^2 \left(\frac{1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \right)$$

$$= 251,327 \text{ mm}^2$$

$$\text{Cek : } A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$251,327 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat spasi tulangan susut

$$S_{\text{maks}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.2

$$S_{\text{maks}} = 5 \cdot h$$

$$= 3 \cdot 120 \text{ mm}$$

$$= 600 \text{ mm}$$

$$\text{Cek : } S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$$

$$200 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

atau

$$S_{\text{maks}} < 450 \text{ mm}$$

$$\text{Cek : } S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$$

$$200 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Lebar jalur pemasangan penulangan pelat

$$\text{Bentang panjang} = 0,25 I_n$$

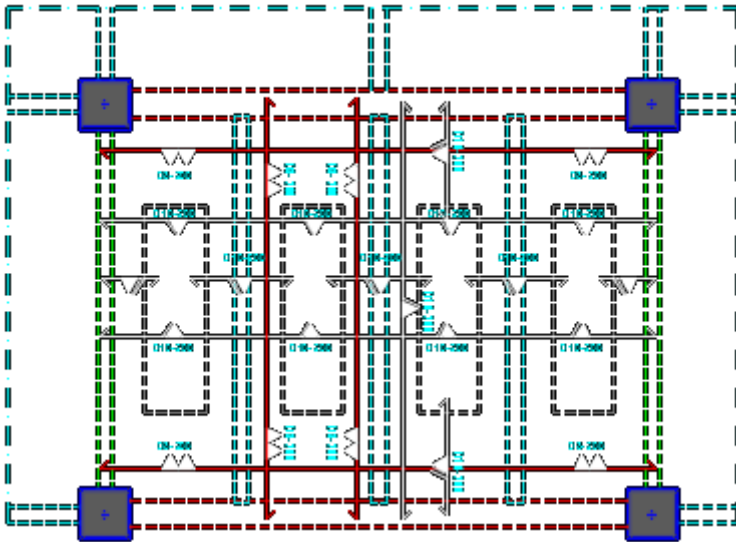
$$= 0,25 \times 5400 \text{ mm}$$

$$= 1350 \text{ mm}$$

$$\text{Bentang pendek} = 0,25 S_n$$

$$= 0,25 \times 1800 \text{ mm}$$

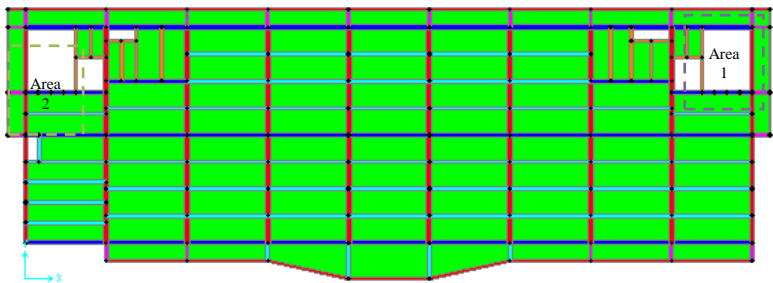
$$= 450 \text{ mm}$$



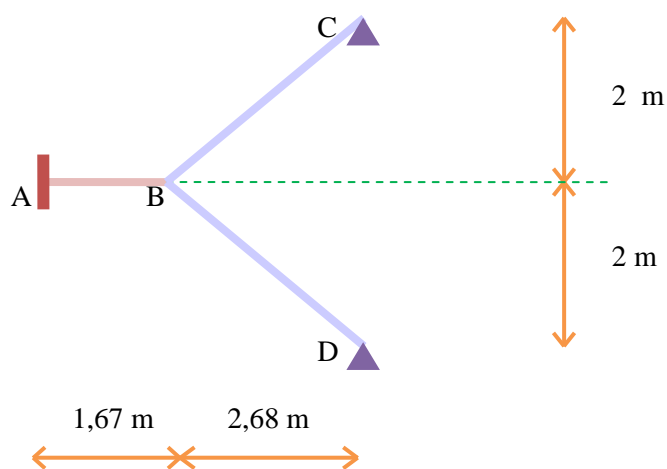
Gambar 4. 10 Penulangan Pelat Tipe A

4.4.2. Perhitungan Tangga

Pada perencanaan struktur tangga Gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS, terdapat dua area tangga. Perencanaan tulangan tangga tak berbeda jauh dengan perencanaan penulangan pelat satu arah yang terdiri dari tulangan utama dan tulangan pembagi/susut. Desain tangga dibuat dengan kemiringan per pelat tangga kisaran $25^\circ < \alpha < 40^\circ$ dengan tinggi injakan anak tangga kisaran 17 cm – 18 cm sehingga pengguna tangga Gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS akan nyaman dalam beraktifitas naik dan turun per lantainya.



Gambar 4. 11 Sketsa Denah Lantai 2 Area Tangga



Gambar 4. 12 Sketsa Potongan Perencanaan Tangga Area 1

Data Perencanaan:

1.	Tipe Tangga	Area 1
2.	Panjang datar tangga	175 cm
3.	Tinggi pelat tangga BD	200 cm
4.	Tinggi pelat tangga BC	200 cm
5.	Lebar tangga	159 cm
6.	Kemiringan tangga	36°

7. Lebar injakan	25	cm
8. Tinggi injakan	18	cm
9. Mutu Beton (f_c')	30	MPa
10. Mutu tulangan \emptyset	240	MPa
11. Mutu tulangan D	400	MPa

Syarat kemiringan tangga :

Kontrol :

$$25^\circ < \alpha < 40^\circ$$

$$25^\circ < 36^\circ < 40^\circ \quad (\text{memenuhi})$$

Tebal efektif pelat tangga :

$$\text{Luas } \Delta 1 = 0,5 \times l \times t = 0,5 \times 25 \times 18 = 225 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas } \Delta 2 &= 0,5 \times (i^2 + t^2)^{0,5} \cdot d \\ &= 0,5 \times (25^2 + 18^2)^{0,5} \cdot d = 18,768 \text{ d} \end{aligned}$$

$$\text{Persamaan luas } \Delta 1 = \text{luas } \Delta 2$$

$$225 = 18,768 \text{ d}$$

$$d = 11,988 \text{ cm}$$

$$0,5d = 5,994 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi efektif pelat} = 10 \text{ cm} + 5,994 \text{ cm} = 15,994 \text{ cm}$$

Pembebanan pada tangga

⇒ Pembebanan pada pelat tangga BC dan BD

a. Beban mati (q_D)

$$\begin{aligned} 1. \text{ Berat sendiri pelat} &= \frac{0,15994m}{\cos 30^\circ} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,1847 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 443,24 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$2. \text{ Keramik} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$3. \text{ Perekat keramik lantai} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$4. \text{ Pegangan Tangga} = 10 \text{ kg/m}^2 \quad +$$

$$\text{Maka, } q_{D\text{Total}} = 493,24 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_D \text{Total} \times \text{lebar tangga} &= 493,24 \text{ kg/m}^2 \times 1,59 \text{ m} \\
 &= 784,25 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Beban hidup (q_L)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban terpusat tangga } (q_L) &= 133 \text{ kg} \\
 \text{Maka, } q_L \text{Total} &= 133 \text{ kg} \\
 q_L \text{Total: lebar tangga} &= 133 \text{ kg} : 1,59 \text{ m} \\
 &= 83,65 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

c. Beban ultimit (q_U)

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\
 &= 1,2(784,25) + 1,6(83,65) \\
 &= 1074,94 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

⇒ Pembebanan pada pelat bordes AB

a. Beban mati (q_D)

1. Berat sendiri pelat	$= 2400 \text{ kg/m}^3 \times h$	
	$= 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 \text{ m}$	
	$= 360 \text{ kg/m}^2$	
2. Keramik	$= 15 \text{ kg/m}^2$	
3. Perekat keramik lantai	$= 25 \text{ kg/m}^2$	
4. Pegangan Tangga	$= 10 \text{ kg/m}^2$	+
<hr/>		
Maka, $q_D \text{Total}$	$= 410 \text{ kg/m}^2$	
$q_D \text{Total} \times \text{lebar tangga}$	$= 410 \text{ kg/m}^2 \times 3,34 \text{ m}$	
	$= 1271 \text{ kg/m}$	

b. Beban hidup (q_L)

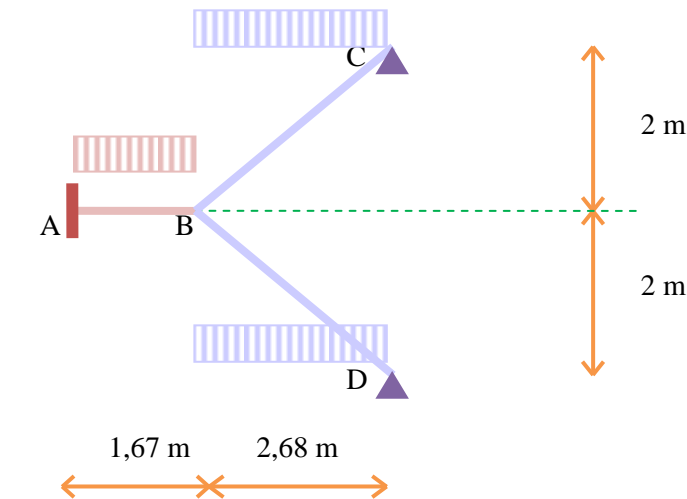
$$\begin{aligned}
 \text{Beban terpusat tangga } (q_L) &= 133 \text{ kg} \\
 \text{Maka, } q_L \text{Total} &= 133 \text{ kg} \\
 q_L \text{Total : lebar tangga} &= 133 \text{ kg} : 3,34 \text{ m} \\
 &= 42,9032 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

c. Beban ultimit (q_U)

$$\begin{aligned} q_U &= 1,2 q_D + 1,6 q_L \\ &= 1,2(1271) + 1,6(42,9032) \\ &= 1593,85 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Analisa Struktur Pelat Tangga dan Bordes

Dalam analisa struktur melalui ilmu mekanika, tangga akan diasumsikan sebagai frame 2 dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya-gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tak tentu. Tangga gedung bengkel dan laboratorium PPNS ini akan dimodelkan sebagai frame statis tak tentu dengan metode cross dengan kondisi perletakan berupa sendi yang diletakkan sebagai ujung dari tangga dalam kondisinya umumnya berupa balok.



Gambar 4. 13 Sketsa Analisa Sturuktur Perencanaan Tangga Area 1

$$\text{Panjang miring tangga} = \sqrt{2,68^2 + 2^2} = 3,34 \text{ m}$$

Metode Cross

$$\mu_{BC} : \mu_{AB} : \mu_{BE} = \frac{3EI}{3,34} : \frac{4EI}{1,67} : \frac{3EI}{3,34} = 0,882EI : 2,395EI : 0,882EI$$

$$\mu_{AB} = \frac{2,395EI}{2,395EI + 0,882EI + 0,882EI} = 0,5759$$

$$\mu_{BC} = \mu_{BE} = \frac{0,882EI}{2,395EI + 0,882EI + 0,882EI} = 0,2121$$




$$\text{Kontrol : } \mu_{BA} + \mu_{BC} + \mu_{BE} = 1 \quad (\text{OK})$$

Momen Primair

$$MF_{AB} = +1/12 \cdot 1593,85 \cdot 1,67^2 = + 319,102 \text{ kgm}$$

$$MF_{BC} = -1/8 \cdot 1312,44 \cdot 2,68^2 = - 1240,67 \text{ kgm}$$

$$MF_{BD} = -1/8 \cdot 1312,44 \cdot 2,68^2 = - 1240,67 \text{ kgm}$$

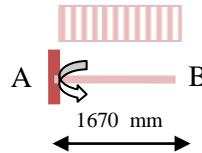
Tabel Cross			
TitikBatang	B		
	AB	BC	BD
FD	-0,6019	-0,1991	-0,1991
MF	319,102	-1240,67	-1240,67
MD	1137,5479	380,4483	380,4483
MI	0	0	0
MD	0	0	0
M akhir	1354,7871	-677,3935	-677,3935
Gambar Momen			

Kontrol Momen Akhir pada Tabel Cross

$$\sum M. \text{ Akhir} = 0$$

$$M.AB + M.BC + M.BE = 0$$

$$1354,7871 - 677,3935 - 677,3935 = 0$$



Batang AB

$$\sum M_B = 0 \quad \text{dimisalkan } V_B \uparrow$$

$$-V_A \cdot L + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - M_{(AB)} = 0$$

$$-V_A \cdot 1,67\text{m} + \frac{1}{2} \cdot 1593,85\text{kg/m} \cdot (1,67\text{m})^2 - 1354,7871\text{kgm} = 0$$

$$V_A = -38,0383 \text{ kg}$$

$$V_A = 38,0383 \text{ kg} \quad \downarrow$$

Maka,

$$\begin{aligned} V_B = Q \cdot L - V_A &= 1593,85\text{kg/m} \cdot 1,5 \text{ m} - 38,0383\text{kg} \\ &= 1892,9771\text{kg} \quad \uparrow \end{aligned}$$

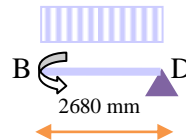
Batang BD

$$\sum M_B = 0 \quad \text{dimisalkan } V_D \uparrow$$

$$V_E \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{(BE)} = 0$$

$$V_E \cdot 2,68 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot 1312,44\text{kg/m} \cdot (2,68 \text{ m})^2 + 677,3935 \text{ kgm}$$

$$V_E = 1351,3208 \text{ kg} \quad \uparrow$$



Maka,

$$\begin{aligned} V_B = Q \cdot L - V_E &= 1312,44\text{kg/m} \cdot 2,68 \text{ m} + 1351,3208 \text{ kg} \\ &= 1866,4489 \text{ kg} \quad \uparrow \end{aligned}$$

Batang BC

Untuk reaksi V_B pada batang BC, dapat diambil langsung dari reaksi penjumlahan antara reaksi V_B di batang AB dan BD, namun perlu diketahui bahwa reaksi V_B pada batang BC harus memiliki arah yang berlawanan dengan 2 reaksi V_B lainnya. Sehingga kontrol $\sum V$ pada titik B = 0 (karena bukan merupakan perletakan).

Maka reaksi V_B pada batang BC dapat ditentukan sebagai berikut;

$$\sum V = 0$$

$$V_{B,BC} + V_{B,BE} + V_{B,AB} = 0$$

$$V_{B,BC} + 1866,4489 + 1892,9771 = 0$$

$$V_{B,BC} = 3759,426 \text{ kg}$$



Maka, reaksi V_C dapat ditentukan

$$V_C = Q.L + V_B = 1312,44 \text{ kg/m} \cdot 2,768 \text{ m} + 3759,426 \text{ kg}$$

$$= 6977,1958 \text{ kg}$$



Mencari M max

Batang BC

$$N_{BC} = -V_B \sin(30) = -3759,426 \sin(30) = -1879,713 \text{ kg}$$

$$D_{BC} = V_{B,BC} \cos(30) = 3759,426 \cos(30) = 3255,7584 \text{ kg}$$

$$D_{CB} = V_C \cos(30) = 6977,1958 \cos(30) = 6042,4288 \text{ kg}$$

Bidang N, D dan M

Lihat Kiri Potongan

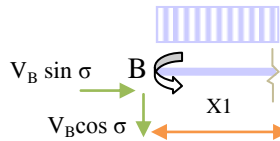
$$N_{X1} = -1879,713 \text{ kg}$$

$$X1 = 0$$

$$N_B = 0$$

$$X1 = 2,68 \text{ m}$$

$$N_C = -1879,713 \text{ kg}$$



$$D_{X1} = -3255,7584 + 1312,44 \cdot X1$$

$$X1 = 0$$

$$D_B = 3255,7584 \text{ kg}$$

$$X1 = 2,68 \text{ m}$$

$$D_C = -37.9886 \text{ kg}$$

Mencari Mmax

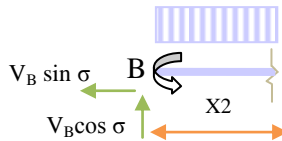
Batang BD

$$N_{BD} = V_B \sin(30) = 1866,4489 \sin(30) = 933,2245 \text{ kg}$$

$$D_{BD} = V_{B,BC} \cos(30) = 1866,4489 \cos(30) = 1616,3922 \text{ kg}$$

$$D_{DB} = V_{E,BC} \cos(30) = 1351,3208 \cos(30) = 1170,2781 \text{ kg}$$

Bidang N, D dan M
Lihat Kiri Potongan
 $N_{X2} = 933,2245 \text{ Kg}$



$$\begin{array}{ll} X2 = 0 & N_B = 0 \\ X2 = 2,68 \text{ m} & N_E = 933,2245 \text{ kg} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} DX2 = -1616,3922 + 1312,44 \cdot X2 \\ X2 = 0 & DB = -1616,3922 \text{ kg} \\ X2 = 2,68 \text{ m} & DE = 1601,3776 \text{ kg} \end{array}$$

Pada $D = 0$, terjadi momen maximum

$$\begin{array}{ll} DX2 = 0 \\ -1616,3922 + 1312,44 \cdot X2 = 0 \\ X2 = 1,3104 \text{ m (dari titik B)} \\ M_{\max} = -1616,3922 \cdot (X2) + \frac{1}{2} \cdot 1312,44 \cdot (X2)^2 - M_{(BE)} \\ M_{\max} = -1616,3922 (1,3104) + 656,22 (1,3104) - 677,3935 \\ M_{\max} = -1935,6032 \text{ kgm (Momen Max Tangga)} \\ X2 = 0 & MB = -677,3935 \text{ kg} \\ X2 = 2,68 \text{ m} & MD = -682,2708 \text{ kg} \end{array}$$

Dari hasil perhitungan mekanika teknik tangga, diperoleh nilai momen yang akan disajikan dalam bentuk tabel berikut;

Letak	Momen (kgm)
Momen Max BD	1935,6032 kgm
Momen Max AB	1354,7871 kgm

Momen tangga diambil terbesar, yaitu = 1935,6032 kgm, sedangkan momen pada bordes diambil 1354,7871 kgm, selanjutnya akan digunakan dalam hitungan analisa penulangan pelat.

Koefisien penentu penulangan

- Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85f_c'}$$

$$m = \frac{400MPa}{0,85 \times 30MPa}$$

$$m = 15,6863$$

- Nilai β_1

Reduksi β_1 sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa diatas 28 MPa

SNI 03-2874-2013 Pasal 10.2.7.3

Mutu beton pakai (f_c') = 30 MPa, kenaikan 2 MPa dari 28 MPa.

Maka, nilai reduksi untuk $f_c' = 30$ MPa adalah

$$\frac{2MPa}{7MPa} = \frac{x}{0,05}$$

$$x = \frac{2MPa \cdot 0,05}{7MPa}$$

$$x = 0,014286$$

$$\beta_1 = 0,85 - x$$

$$\beta_1 = 0,85 - (0,014286)$$

$$\beta_1 = 0,8357$$

- Batasan penulangan

$$\begin{aligned} 1. \quad \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400MPa} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

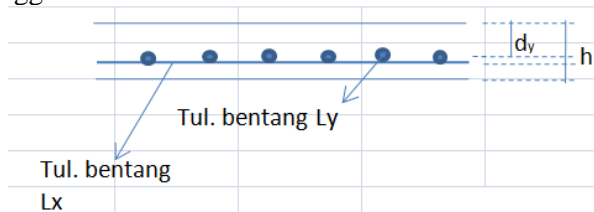
SNI 03-2874-2013 Pasal 10.5.1

$$\begin{aligned}
 2. \quad \rho_b &= \left(\frac{0,85\beta_1 f_{c'}}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \right) \\
 &= \left(\frac{0,85 \cdot 0,8357 \cdot 30\text{MPa}}{400\text{MPa}} \cdot \left(\frac{600}{600+400\text{MPa}} \right) \right) \\
 &= 0,03205
 \end{aligned}$$

SNI 03-2874-2013 Pasal B.8.4.2

$$\begin{aligned}
 3. \quad \rho_{maks} &= 0,75\rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,03205 \\
 &= 0,02404
 \end{aligned}$$

⇒ Tinggi Efektif



Gambar 4. 14 Tinggi Efektif Potongan Pelat Tangga

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

Asumsi diameter pakai pada arah x (D) = 1,0 cm dan arah y (D') = 1,2 cm

Tinggi efektif penulangan

$$\begin{aligned}
 dx &= h - ts - D/2 \\
 &= 15\text{cm} - 2\text{cm} - (1,0\text{cm}/2) \\
 &= 12,5 \text{ cm} = 125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 dy &= h - ts - D - D'/2 \\
 &= 15\text{cm} - 2\text{cm} - 1,0\text{cm} - (1,2\text{cm}/2) \\
 &= 11,4 \text{ cm} = 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Penulangan pada pelat tangga

Momen pelat tangga = 19356032 N.mm

Menentukan kebutuhan tulangan pelat

⇒ Tulangan Arah Y

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{19356032 \text{ N} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{0,9} \\ &= 21506702,22 \text{ N} \cdot \text{mm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b(d_y)^2} \\ &= \frac{21506702,22 \text{ N} \cdot \text{mm/m}}{1000 \text{ mm}(114 \text{ mm})^2} \\ &= 1,6549 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,6863) \cdot 1,6549}{400 \text{ MPa}}} \right) \\ &= 0,00428 \end{aligned}$$

- Cek batasan ρ

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,0035 \leq 0,00428 \leq 0,02404 \text{ (Memenuhi)}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$, maka ρ_{perlu} sebesar **0,00428**

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y \\ &= 0,00428 \cdot 1000 \cdot 114 \text{ mm}^2 \\ &= 488,024 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \cdot d$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,25\sqrt{30MPa}}{400MPa} 1000 \cdot 114mm^2 \\
&= 0,0034232 \times 114000mm^2 \\
&= 390,2523 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Tulangan pakai Ø12 – 150

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\
&= \frac{1}{4} \pi (12mm)^2 \left(\frac{1000mm}{150mm} \right) \\
&= 753,98 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Cek : $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$

$$753,98mm^2 > 488,024 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{maks} \leq 3h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 10.5.4

$$\begin{aligned}
S_{maks} &= 3 \cdot h \\
&= 3 \cdot 150 \text{ mm} \\
&= 450 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Cek : $S_{pakai} < S_{maks}$

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

⇒ Tulangan Susut arah X

Pada tulangan susut, di gunakan tulangan ulir mutu 280 – 350 MPa yang memiliki rasio luas tulangan sebesar 0,002.

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1 a

$$\begin{aligned}
\text{Maka, } A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{susut} \cdot b \cdot \text{tebalpelat} \\
&= 0,002 \cdot 1000 \cdot 150 \text{ mm}^2 \\
&= 300 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan untuk komponen tulangan susut :

Tulangan pakai Ø10 – 150

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s)$$

$$= \frac{1}{4} \pi (10mm)^2 \left(\frac{1000mm}{150mm} \right)$$

$$= 523,60 \text{ mm}^2$$

Cek : $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$523,60 \text{ mm}^2 > 300 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat spasi tulangan susut

$$S_{maks} \leq 5h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.2

$$S_{maks} = 5 \cdot h$$

$$= 5 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$= 750 \text{ mm}$$

Cek : $S_{pakai} < S_{maks}$

$$150 \text{ mm} < 750 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Atau

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Penulangan pada pelat bordes

$$\text{Momen pelat bordes} = 13547871 \text{ N.mm}$$

Menentukan kebutuhan tulangan pelat

⇒ Tulangan Arah Y

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{13547871 \text{ N} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{m}}}{0,9}$$

$$= 15053190 \text{ N.mm/m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b(d_y)^2}$$

$$= \frac{15053190 \text{ N.mm/m}}{1000 \text{ mm} (114 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,15829$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(15,6863) \cdot 1,15829}{400 \text{ MPa}}} \right) \\
 &= \mathbf{0,00296}
 \end{aligned}$$

- Cek batasan ρ

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$\mathbf{0,0035} \geq \mathbf{0,00296} \leq \mathbf{0,02397} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, maka ρ_{perlu} memakai ρ_{\min} sebesar **0,0035**

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d_y \\
 &= \mathbf{0,0035 \cdot 1000 \cdot 114 \text{ mm}^2} \\
 &= 399,000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan minimum untuk komponen struktur lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w \cdot d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{30 \text{ MPa}}}{400 \text{ MPa}} \mathbf{1000 \cdot 114 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{0,0034232 \times 114000 \text{ mm}^2} \\
 &= 390,2523 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan pakai $\emptyset 12 - 150$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\
 &= \frac{1}{4} \pi (12 \text{ mm})^2 \left(\frac{1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \right)
 \end{aligned}$$

$$= 753,98 \text{ mm}^2$$

Cek : $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$753,98 \text{ mm}^2 > 399 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat spasi antar tulangan

$$S_{\text{maks}} \leq 3h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 10.5.4

$$S_{\text{maks}} = 3 \cdot h$$

$$= 3 \cdot 150 \text{ mm}$$

$$= 450 \text{ mm}$$

Cek : $S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

⇒ Tulangan Susut arah X

Pada tulangan susut, di gunakan tulangan ulir mutu 280 – 350 MPa yang memiliki rasio luas tulangan sebesar 0,002.

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.1 a

$$\begin{aligned} \text{Maka, } A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebalpelat} \\ &= 0,002 \cdot 1000 \cdot 150 \text{ mm}^2 \\ &= 300 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Cek kebutuhan tulangan untuk komponen tulangan susut :

Tulangan pakai $\emptyset 10 - 150$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{1}{4} \pi D^2 (b/s) \\ &= \frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \left(\frac{1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \right) \\ &= 523,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek : $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$523,6 \text{ mm}^2 > 300 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

- Cek syarat spasi tulangan susut

$$S_{maks} \leq 5h \text{ atau } S_{maks} \leq 450 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 Pasal 7.12.2.2

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 5 \cdot h \\ &= 5 \cdot 150 \text{ mm} \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } S_{pakai} < S_{maks}$$

$$150 \text{ mm} < 750 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Atau

$$150 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Panjang penyaluran

Panjang penyaluran kait tulangan pelat tangga ke sloof 30/60.

$$\begin{aligned} L_{dh} &= \frac{\frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\sqrt{f_c'}}}{db} \\ &= \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \cdot db \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 Pasal 12.5.2

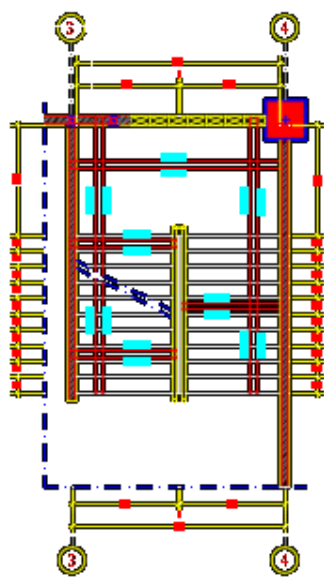
Dengan koefisien :

$$\psi_e \text{ dan } \lambda = 1,0$$

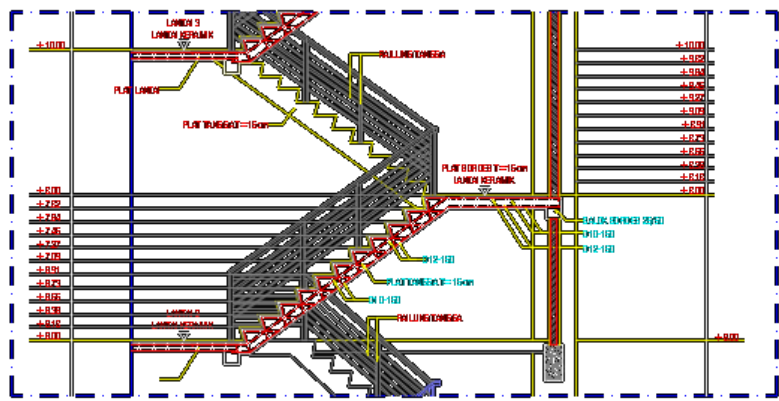
$$db \text{ tulangan pelat tangga} = 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, panjang } L_{dh} &= \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \cdot db \\ &= \frac{0,24 \cdot 1 \cdot 400 \text{ MPa}}{1 \sqrt{30 \text{ MPa}}} \cdot 12 \text{ mm} \\ &= 280,434 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$L_{dh} \text{ pakai} = 300 \text{ mm}$$



Gambar 4. 15 Denah Penulangan Struktur Tangga



Gambar 4. 16 Potongan Struktur Tangga

4.5. Perencanaan Struktur Primer

4.5.1. Perhitungan Tulangan Balok

Perhitungan tulangan balok induk B1 35/70 pada joint 2 As B-E elevasi +6.00 menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus ditinjau berdasarkan momen terbesar, puntir terbesar. Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil output analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMK, perhitungan serta hasil akhir gambar penulangan balok adalah sebagai berikut :

Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok	: B1 35/70
As balok	: As 2 / B-E
Bentang balok	: 7200 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa
Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur)	: 22
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 10
Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir)	: 12
Jarak spasi tul. Sejajar (S sejajar)	: 25 mm
	SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1
Jarak spasi tulangan antar lapis	: 25 mm
	SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
	SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1
Faktor β_1	: 0,836
	SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,9
	SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75

SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3

Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75

SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3

Tinggi efektif balok :

$$d = h - \text{decking} - \phi \text{sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{tulanganlentur}$$

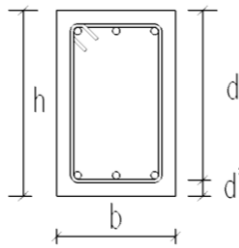
$$d = 750 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} (22 \text{ mm})$$

$$d = 639 \text{ mm}$$

$$d' = h - d$$

$$d' = 700 \text{ mm} - 639 \text{ mm}$$

$$d' = 61 \text{ mm}$$



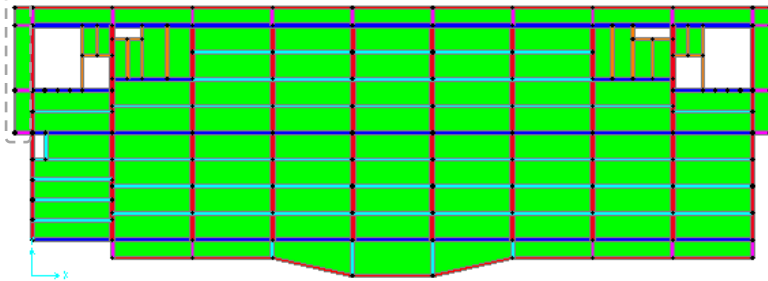
Gambar 4. 17 Tinggi Efektif Balok

Hasil output dan diagram gaya dalam dari SAP 2000

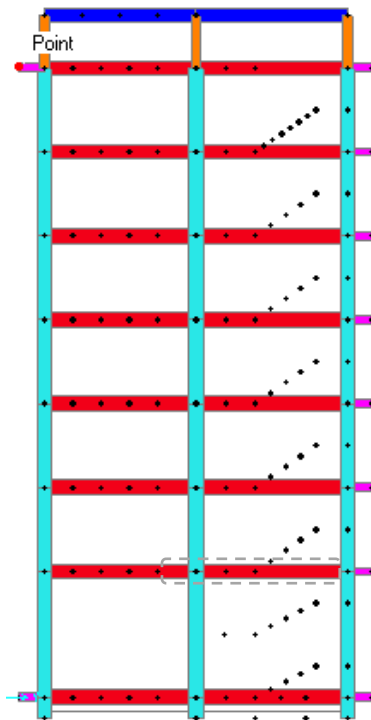
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi, kombinasi beban gempa dan kombinasi lainnya.

Denah posisi balok yang ditinjau



Gambar 4. 18 Denah Posisi Balok B1 35/70 pada Joint 2 As B-E



Gambar 4. 19 Posisi Balok B1 35/70 pada Joint 2 As B – E

Hasil Output Program SAP 2000

⇒ Hasil Output Diagram Lentur

Kombinasi 1,2 D + 1,0 Ey + 1,0 L

- Momen Tumpuan Kiri = 632320907 Nmm
- Momen Lapangan = 131965675 Nmm
- Momen Tumpuan Kanan = 376154639 Nmm

⇒ Hasil Output Diagram Puntir

Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex

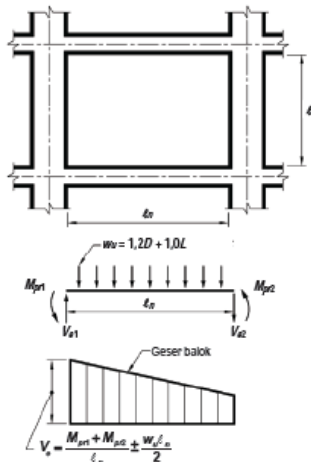
- Momen Puntir = 24333595,9 Nmm

⇒ Hasil Output Diagram Geser

Kombinasi 1,2 D + 1,0 L

- Gaya Geser Tumpuan = 135457,63 Nmm
- Gaya Geser Lapangan = 84052,67 Nmm

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.5.1 mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)



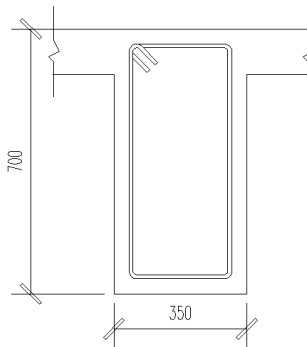
Gambar 4. 20 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMK

Persyaratan Gaya dan Geometri SRPMK

- $P_u < 0,1 A_g f_c'$
 $177691,4 \text{ N} < 0,1(350 \text{ mm})(700 \text{ mm})(30 \text{ N/mm}^2)$
 $177691,4 \text{ N} < 735000$ (memenuhi)
- $l_n \geq 4d$
 $7125 \text{ mm} > 4(639 \text{ mm})$
 $7125 \text{ mm} > 2556$ (memenuhi)
- $b \geq 0,3h$
 $350 \text{ mm} > 0,3(700 \text{ mm})$
 $350 \text{ mm} > 210 \text{ mm}$ (memenuhi)
- $250 \text{ mm} < b < c + 2(\frac{3}{4}h)$
 $250 \text{ mm} < 350 \text{ mm} < 700 \text{ mm} + 2(\frac{3}{4}(700 \text{ mm}))$
 $250 \text{ mm} < 350 \text{ mm} < 1750 \text{ mm}$ (memenuhi)

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.

Ukuran penampang balok yang dipakai = 35/70



Gambar 4. 21 Ukuran penampang B 35/70

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$A_{cp} = b_{balok} \cdot h_{balok}$$

$$A_{cp} = (350 \text{ mm})(700 \text{ mm})$$

$$A_{cp} = 245000 \text{ mm}^2$$

Parameter luar irisan penampang beton Acp

$$P_{cp} = 2 (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2((350 \text{ mm}) + (700 \text{ mm}))$$

$$P_{cp} = 2100 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) \cdot (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})$$

$$A_{oh} = (350 \text{ mm} - 2(40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})(700 \text{ mm} - 2(40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 158600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$p_h = 2[(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \phi_{geser})]$$

$$p_h = 2[(350 \text{ mm} - 2(40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2(40 \text{ mm}) - 10 \text{ mm})]$$

$$p_h = 1740 \text{ mm}$$

⇒ Perhitungan Penulangan Puntir

Berdasarkan hasil output diagram puntirSAP 2000 diperoleh momen puntir :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi 1,2 D + 1 L + 1 Ex

$$T_u = 24333595,9 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$Tn = \frac{24333595,9 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$Tn = 32444794,5 \text{ Nmm}$$

Geser Ultimate

Akibat kombinasi 1,2D + 1,0L

$$Vu = 135457,63 \text{ N}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor Tu besarnya kurang daripada :

$$\phi Tu_{min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.1 (a)

$$\phi Tu_{min} = 0,75(0,083)(1,0) \sqrt{30 \frac{N}{mm^2} \left(\frac{245000^2 mm^2}{2100 mm} \right)}$$

$$\phi Tu_{min} = 9745695,93 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum Tu dapat diambil sebesar :

$$\phi Tu_{max} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.2.2 (a)

$$\phi Tu_{max} = 0,75(0,33)(1,0) \sqrt{30 \frac{N}{mm^2} \left(\frac{245000^2 mm^2}{2100 mm} \right)}$$

$$\phi Tu_{max} = 38747947,7 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh momen puntir

$Tu < Tu_{min}$ maka tulangan puntir diabaikan

$Tu > Tu_{min}$ maka memerlukan tulangan puntir

24333595,9 Nmm > 9745695,93 Nmm (memerlukan tulangan puntir)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1,7 A_{oh}}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0,66 \sqrt{f'c'} \right)$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.1 (a)

$$\sqrt{\left(\frac{135457,63 \text{ N}}{(350 \text{ mm})(639 \text{ mm})}\right)^2 + \left(\frac{(24333595,9 \text{ Nmm})(1740 \text{ mm})}{1,7(159600 \text{ mm}^2)^2}\right)^2}$$

$$\leq 0,75 \left(\frac{204163,58}{(350 \text{ mm})(639 \text{ mm})} + 0,66 \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)$$

1,161 ≤ 3,396(memenuhi)

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir

Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung dari persamaan di bawah ini :

$$T_n = \frac{2 A_o A_t f_{yv}}{s} \cot \theta$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.6

Dimana :

$$A_o = 0,85(A_{oh})$$

$$A_o = 0,85(158600 \text{ mm}^2)$$

$$A_o = 134810 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2A_o f_{yv} \cot \theta}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{32444794,53 \text{ Nmm}}{2(134810 \text{ mm}^2) \left(240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) \cot 45}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,5014 \text{ mm}^2$$

Tetapi $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari :

$$\frac{0,175b_w}{f_{yv}} = \frac{0,175(350\text{mm})}{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0,2552 \text{ (memenuhi)}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_{l_{perlu}} = (0,5014 \text{ mm}^2)(1740 \text{ mm}) \left(\frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right) \cot^2 45$$

$$A_{l_{perlu}} = 738,134 \text{ mm}^2$$

Tetapi A_l tidak boleh kurang dari :

$$A_{l_{min}} = \frac{0,42 \sqrt{f'c'} A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) p_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right)$$

$$A_{l_{min}} = \frac{0,42 \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} (245000 \text{ mm}^2)}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} (0,5014 \text{ mm}^2)(1740 \text{ mm}) \left(\frac{240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)$$

$$A_{l_{min}} = 885,558 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l_{perlu}} \leq A_{l_{min}}$ maka gunakan $A_{l_{min}}$

$A_{l_{perlu}} \geq A_{l_{min}}$ maka gunakan $A_{l_{perlu}}$

$$738,134 \text{ mm}^2 \geq 885,558 \text{ mm}^2 \text{ (maka pakai } A_{l_{min}})$$

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar $885,558 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_l}{4} = \frac{885,558\text{mm}^2}{4} = 221,39\text{mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan longitudinal :

Pada sisi atas = disalurkan $\frac{1}{4}$ pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan $\frac{1}{4}$ pada tulangan tekan balok

Maka, sisi atas dan bawah balok masing-masing mendapatkan tambahan luasan puntir sebesar $221,39 \text{ mm}^2$

Penulangan torsi pada tulangan transversal :

Pada sisi samping disalurkan $\frac{1}{4}$ pada tulangan sengkang balok

Maka, sisi samping balok mendapatkan tambahan luasan puntir sebesar $221,39 \text{ mm}^2$

Penulangan torsi :

Pada sisi samping lainnya dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$\frac{A_l}{4} = \frac{885,558\text{mm}^2}{4} = 221,390\text{mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$n = \frac{A_{l_{perlu}}}{A_{l_{pakai}}}$$

$$n = \frac{221,390\text{mm}^2}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$n = \frac{221,390\text{mm}^2}{\frac{1}{4}\pi(12\text{mm})^2}$$

$$n = \frac{221,390\text{mm}^2}{113,0973\text{mm}^2}$$

$$n = 1,958 \approx 4\text{buah}$$

⇒ Dipasang tulangan puntir 4D 12

Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)

$$A_{l_{pasang}} = n_{pasang} \times \text{luas tulangan puntir}$$

$$A_{l_{pasang}} = 4 \times 113,0973 \text{ mm}^2$$

$$A_{l_{pasang}} = 452,3893 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_{l \text{ pasang}} \geq A_{l \text{ perlu}}$

$$452,3893 \text{ mm}^2 \geq 221,390 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipasang tulangan puntir ditumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar 4D 12

⇒ Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi :

Kombinasi 1,2D + 1,0Ey + 1,0L

$$M_{u_{tumpuan}} = 632320907 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{u_{tumpuan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{632320907 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 702578786 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400 \frac{N}{mm^2}} \right) 639 \text{ mm}$$

$$X_b = 383,4 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 X_b$$

$$X_{max} = 0,75(383,4 \text{ mm})$$

$$X_{max} = 287,55 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 61 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$C_c' = 0,85 \left(30 \frac{N}{mm^2} \right) (350 \text{ mm}) (0,8357) (100 \text{ mm})$$

$$C_c' = 745862,25 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}}{f_y}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \left(30 \frac{N}{mm^2} \right) (350 \text{ mm}) (0,8357) (100 \text{ mm})}{\left(400 \frac{N}{mm^2} \right)}$$

$$A_{sc} = 1864,656 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1864,656 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \left[639 \text{ mm} - \frac{(0,8357)(100 \text{ mm})}{2} \right]$$

$$M_{nc} = 445440123,6 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 702578785,6 \text{ Nmm} - 445440123,6 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = 257138661,9 \text{ Nmm}$$

Maka, $M_{ns} > 0$

$M_{ns} = 257138661,9 \text{ Nmm} > 0$ (perlu tulangan lentur tekan)

- Perencanaan Tulangan Lentur Rangkap

Gaya tekan dan tarik tulangan lentur rangkap

$$C_s' = T_2 = \frac{M_{ns_{tumpuan}}}{d - d'}$$

$$C_s' = T_2 = \frac{257138661,9 \text{ Nmm}}{639 \text{ mm} - 61 \text{ mm}}$$

$$C_s' = T_2 = 444876,578 \text{ N}$$

Cek kondisi tulangan lentur tekan

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x} \right) 600$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{61 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} \right) 600$$

$$f_s' = 234 \frac{N}{mm^2}$$

Syarat :

$f_s' \geq f_y \rightarrow$ leleh, maka $f_s' = f_y$

$f_s' < f_y \rightarrow$ tidak leleh, maka $f_s' = f_s'$

$f_s' < f_y$

$$234 \frac{N}{mm^2} < 400 \frac{N}{mm^2} \rightarrow \text{tidakleleh}$$

$$\text{Maka } f_s' = 234 \frac{N}{mm^2}$$

Luas tulangan tekan perlu

$$A_s' = \frac{C_s'}{f_s' - 0,85f_c'}$$

$$A_s' = \frac{444876,578 \text{ N}}{234 \frac{N}{mm^2} - \left[0,85 \left(30 \frac{N}{mm^2} \right) \right]}$$

$$A_s' = 2133,701 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan tarik tambahan

$$A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$$

$$A_{ss} = \frac{444876,578 \text{ N}}{400 \frac{N}{mm^2}}$$

$$A_{ss} = 1112,191 \text{ mm}^2$$

Luasan perlu (A_s perlu) tulangan lentur tekan

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

$$A_s = 1864,656 \text{ mm}^2 + 1112,191 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 2976,847 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$n = \frac{A_{sperlu}}{A_{spakai}}$$

$$n = \frac{2976,847 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$n = \frac{2976,847 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = \frac{2976,847 \text{ mm}^2}{380,133 \text{ mm}^2}$$

$$n = 7,831 \approx 8 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 8D 22

Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi atas)

$$A_{spasang} = n_{pasang} \times \text{luas} A_{spakai}$$

$$A_{spasang} = 8 \times 380,133 \text{ mm}^2$$

$$A_{spasang} = 3041,06 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{spasang} \geq A_{sperlu}$$

$$3041,06 \text{ mm}^2 \geq 2976,847 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan tulangan perlu ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$A_{sperlu} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{sperlu} = 2976,847 \text{ mm}^2 + 221,3895 \text{ mm}^2$$

$$A_{sperlu} = 3198,2365 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan puntir (sisi atas)

$$n = \frac{A_{sperlu}}{A_{spakai}}$$

$$n = \frac{3198,2365 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$n = \frac{3198,2365 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = \frac{3198,2365 \text{ mm}^2}{380,133 \text{ mm}^2}$$

$$n = 8,41 \approx 9 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 9D 22

Luasan tulangan lentur tarik setelah ditambah luasan tambahan puntir (pasang sisi atas)

$$A_{s_{pasang}} = n_{pasang} \times \text{luasan } A_{s_{pakai}}$$

$$A_{s_{pasang}} = 9 \times 380,133 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} = 3421,19 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}}$$

$$3421,19 \text{ mm}^2 > 3198,24 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

✓ Sehingga dipasang tulangan lentur tarik ditumpuan sebesar 9D 22

Luasan Perlu (A_s perlu) Tulangan tekan

$$A_s' = 2133,7 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$n = \frac{A_s'_{perlu}}{A_s'_{pakai}}$$

$$n = \frac{2133,7 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$n = \frac{2133,7 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi(22 \text{ mm})^2}$$

$$n = \frac{2133,7 \text{ mm}^2}{380,133 \text{ mm}^2}$$

$$n = 5,613 \approx 6 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 6 D 22

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$A_s'_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luas} A_s'_{\text{pakai}}$$

$$A_s'_{\text{pasang}} = 6 \times 380,133 \text{ mm}^2$$

$$A_s'_{\text{pasang}} = 2280,798 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s'_{\text{pasang}} \geq A_s'_{\text{perlu}}$$

$$2280,798 \text{ mm}^2 \geq 2133,7 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan tulangan perlu ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$A_s'_{\text{perlu}} = A_s' + \frac{A_l}{4}$$

$$A_s'_{\text{perlu}} = 2133,7 \text{ mm}^2 + 221,389 \text{ mm}^2$$

$$A_s'_{\text{perlu}} = 2355,09 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai setelah ditambah luasan tambahan puntir (sisi bawah)

$$n = \frac{A_s'_{\text{perlu}}}{A_s'_{\text{pakai}}}$$

$$n = \frac{2355,09 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$n = \frac{2355,09 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi(22 \text{ mm})^2}$$

$$n = \frac{2355,09 \text{ mm}^2}{380,133 \text{ mm}^2}$$

$$n = 6,1954 \approx 7 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 7 D 22

Luasan tulangan lentur tekan setelah ditambah luasan tambahan puntir (pasang sisi bawah)

$$As'_{pasang} = n \times \text{luas} As'_{pakai}$$

$$As'_{pasang} = 7 \times 380,133 \text{ mm}^2$$

$$As'_{pasang} = 2660,929 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As'_{pasang} > As'_{perlu}$$

$$2660,929 \text{ mm}^2 > 2355,09 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

✓ Sehingga dipasang tulangan lentur tekan ditumpuan sebesar 7 D 22

KONTROL

Direncanakan tulangan tarik 2 lapis 9D22 dan tulangan tekan 2 lapis 7D22

- Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol Tulangan Tarik

$$s_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (\text{jumlahtulangan} \cdot D_{lentur})}{\text{jumlahtulangan} - 1}$$

$$s_{maks} = \frac{350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (9 \cdot 22 \text{ mm})}{9 - 1}$$

$$s_{maks} = 6,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis
 $6,5 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$ (susun lebih dari 1 lapis)

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jumlahtulangan \cdot D_{lentur})}{jumlahtulangan - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (7 \cdot 22 \text{ mm})}{7 - 1}$$

$$S_{maks} = 16 \text{ mm}$$

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis
 $16 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$ (susun lebih dari 1 lapis)

✓ Momen Nominal Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 9D22} = 3421,19 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 7D22} = 2660,93 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(As \cdot f_y) - (As' \cdot f_s)}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a = \frac{\left(3421,19 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)\right) - \left(2133,7 \text{ mm}^2 \left(234 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)\right)}{0,85 \left(30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) (350 \text{ mm})}$$

$$a = 97,39 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

$$C_c' = 0,85 \left(30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) (350 \text{ mm}) (97,39 \text{ mm})$$

$$C_c' = 869191,82 \text{ N}$$

Gaya tekan tulangan rangkap

$$C_s' = As'_{pasang} \cdot f_s$$

$$C_s' = 2133,70 \text{ mm}^2 \left(234 \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$C_s' = 499285,94 \text{ N}$$

$$M_{npasang} = C_c' \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d')$$

$$M_{npasang} = \left[869191,82 \text{ N} \left(639 \text{ mm} - \frac{97,39 \text{ mm}}{2} \right) \right] + [499285,9 \text{ N} (639 \text{ mm} - 61 \text{ mm})]$$

$$M_{npasang} = 801676229 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{npasang} > M_{nperlu}$$

$$801676229 \text{ Nmm} > 702578785,6 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

- ✓ Syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok
- As pakai tulangan tarik 9 D22 = 3421,19 mm²
- As pakai tulangan tekan 7D22 = 2660,93 mm²

- Masing masing luas tulangan atas dan bawah harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang dipersyaratkan.

$$0,025b_w d \geq A_s^- \text{ atau } A_s^+ \geq \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \text{ atau } \frac{1,4b_w d}{f_y}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1

$$0,025(350)(639) \geq 3421,19 \text{ mm}^2 \geq \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} (350)(639) \text{ atau } \frac{1,4(350)(639)}{400}$$

$$5591,25 \text{ mm}^2 \geq 3421,19 \text{ mm}^2 \geq 765,613 \text{ mm}^2 \geq 782,775 \text{ mm}^2$$

$$5591,25 \text{ mm}^2 \geq 2660,93 \text{ mm}^2 \geq 765,613 \text{ mm}^2 \geq 782,775 \text{ mm}^2$$

Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.

$$M_{n,l}^{+} \geq \frac{1}{2} M_{n,l}^{-} \text{ dan } M_{n,r}^{+} \geq \frac{1}{2} M_{n,r}^{-}$$

$$M_n^{+} \geq \frac{1}{4} M_{n,max} \text{ dan } M_n^{-} \geq \frac{1}{4} M_{n,max}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2

$$M_{n,l}^{+} \geq \frac{1}{2} M_{n,l}^{-}$$

$$2660,93 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} (3421,19 \text{ mm}^2)$$

$$2660,93 \text{ mm}^2 \geq 1710,60 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$M_n^{+} \geq \frac{1}{4} M_{n,max} \text{ dan } M_n^{-} \geq \frac{1}{4} M_{n,max}$$

$$3421,19 \text{ mm}^2 \text{ dan } 2660,93 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} (3421,19 \text{ mm}^2)$$

$$3421,19 \text{ mm}^2 \text{ dan } 2660,93 \text{ mm}^2 \geq 855,30 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok B 35/70 pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 9D22 dan tulangan tekan 7 D 22 dengan susunan sebagai berikut :

Tulangan lentur tarik susun 2 lapis

Lapis 1 = 5D22

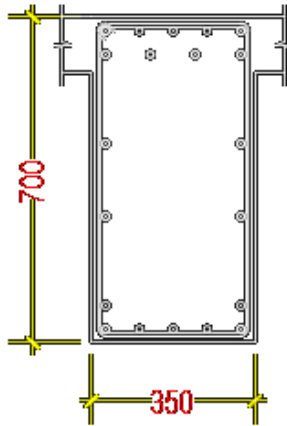
Lapis 2 = 4 D22

Tulangan lentur tekan susun 2 lapis

Lapis 1 = 5 D22

Lapis 2 = 2 D22

Gambar Sketsa :



Gambar 4. 22 Hasil Penulangan Balok B 35/70 Tumpuan

DAERAH LAPANGAN

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi :

Kombinasi 1,2D + 1,6L

$$M_{u_{lapangan}} = 131965675,1 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_n = \frac{M_{u_{lapangan}}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{131965675,1 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 146628527,9 \text{ Nmm}$$

Garis netral dalam kondisi balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400 \frac{N}{mm^2}} \right) 639 \text{ mm}$$

$$X_b = 383,4 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75X_b$$

$$X_{max} = 0,75(383,4 \text{ mm})$$

$$X_{max} = 287,55 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = d'$$

$$X_{min} = 61 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$C_c' = 0,85 \left(30 \frac{N}{mm^2} \right) (350 \text{ mm}) (0,8357) (100 \text{ mm})$$

$$C_c' = 745862,25 \text{ N}$$

Luas tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85f_c' b \beta_1 X_{rencana}}{f_y}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \left(30 \frac{N}{mm^2} \right) (350 \text{ mm}) (0,8357) (100 \text{ mm})}{\left(400 \frac{N}{mm^2} \right)}$$

$$A_{sc} = 1864,656 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} f_y \left(d - \frac{\beta_1 X_{rencana}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1864,656 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \left[639 \text{ mm} - \frac{(0,8357)(100 \text{ mm})}{2} \right]$$

$$M_{nc} = 445440123,6 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$M_{ns} = 146628527,9 \text{ Nmm} - 445440123,6 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = -298811595,7 \text{ Nmm}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -298811595,7 \text{ Nmm} \leq 0$ (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'}$$

$$m = \frac{400 \frac{N}{\text{mm}^2}}{0,85 \left(30 \frac{N}{\text{mm}^2} \right)}$$

$$m = 15,6863$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{400 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\rho_{min} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = 0,85\beta_1 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{balance} = 0,85(0,8379) \left(\frac{30 \frac{N}{mm^2}}{400 \frac{N}{mm^2}} \right) \left(\frac{600}{600 + \left(400 \frac{N}{mm^2} \right)} \right)$$

$$\rho_{balance} = 0,0320$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_{balance}$$

$$\rho_{max} = 0,75(0,0320)$$

$$\rho_{max} = 0,0240$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2}$$

$$R_n = \frac{146628527,9 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm}(639 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 1,026 \frac{N}{mm^2}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 (15,6863) \left(1,026 \frac{N}{mm^2} \right)}{400 \frac{N}{mm^2}}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,0026$$

Syarat :

$$\rho_{min} \leq \rho_{perlu} \leq \rho_{max}$$

$$0,0035 > 0,0026 \leq 0,0240 (\text{memenuhi})$$

Maka, digunakan $\rho_{perlu} = 0,0035$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pakai

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

$$A_{s_{perlu}} = 0,0035(350 \text{ mm})(639 \text{ mm})$$

$$A_{s_{perlu}} = 782,775 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pasang (sisi bawah)

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pakai}}}$$

$$n = \frac{782,775 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi d^2}$$

$$n = \frac{782,775 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4}\pi(22 \text{ mm})^2}$$

$$n = \frac{782,775 \text{ mm}^2}{380,133 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,059 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D 22

Luasan tulangan lentur tarik pasang (sisi bawah)

$$A_{s_{pasang}} = n_{pasang} \times \text{luas} A_{s_{pakai}}$$

$$A_{s_{pasang}} = 3 \times 380,133 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} = 1140,398 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{pasang}} \geq A_{s_{perlu}}$$

$$1140,398 \text{ mm}^2 \geq 782,775 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan tulangan perlu ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$A_{s_{perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{s_{perlu}} = 782,775 \text{ mm}^2 + 221,390 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = 1104,164 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai setelah ditambah luasan tambahan puntir (sisi bawah)

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s_{pakai}}}$$

$$n = \frac{1104,164 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$n = \frac{1104,164 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = \frac{1104,164 \text{ mm}^2}{380,133 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,642 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 3 D 22

Luasan tulangan lentur tekan setelah ditambah luasan tambahan puntir (pasang sisi bawah)

$$A_{s_{pasang}} = n_{pasang} \times \text{luasan} A_{s_{pakai}}$$

$$A_{s_{pasang}} = 3 \times 380,133 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} = 1140,398 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}}$$

$$1140,398 \text{ mm}^2 > 1104,164 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan lentur tarik dilapangan sebesar 3D 22

Luasan Perlu (A_s perlu) Tulangan tekan

$$A_s' = 0,3 A_s$$

$$A_s' = 0,3 (782,775 \text{ mm}^2)$$

$$A_s' = 234,832 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur :

$$As'_{perlu} = As + \frac{A_l}{4}$$

$$As'_{perlu} = 234,832 \text{ mm}^2 + 221,389 \text{ mm}^2$$

$$As'_{perlu} = 456,222 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tariktekan setelah ditambah luasan tambahan puntir (sisi atas)

$$n = \frac{As'_{perlu}}{As'_{pakai}}$$

$$n = \frac{456,222 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

$$n = \frac{456,222 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \pi (22 \text{ mm})^2}$$

$$n = \frac{456,222 \text{ mm}^2}{380,133 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,2002 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 3D 22

Luasan tulangan lentur tekan setelah ditambah luasan tambahan puntir (pasang sisi atas)

$$As'_{pasang} = n \times \text{luasan} As'_{pakai}$$

$$As'_{pasang} = 3 \times 380,133 \text{ mm}^2$$

$$As'_{pasang} = 1140,398 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As'_{\text{pasang}} > As'_{\text{perlu}}$$

$$1140,398 \text{ mm}^2 > 456,222 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan lentur tekan dilapangan sebesar 3D 22

KONTROL

Direncanakan tulangan tarik 1 lapis 3 D22 dan tulangan tekan 1 lapis 3 D22

- Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol Tulangan Tarik

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jumlahtulangan} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlahtulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (3 \cdot 22 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 92 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$92 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (susun 1 lapis)}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \cdot t_{\text{decking}}) - (2 \cdot \phi_{\text{geser}}) - (\text{jumlahtulangan} \cdot D_{\text{lentur}})}{\text{jumlahtulangan} - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{350 \text{ mm} - (2 \cdot 40 \text{ mm}) - (2 \cdot 10 \text{ mm}) - (3 \cdot 22 \text{ mm})}{3 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 92 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$92 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (susun 1 lapis)}$$

- ✓ Momen Nominal Penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 3 D22} = 1140,398 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 3D22} = 1140,398 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y)}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a = \frac{\left(1140,398 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)\right)}{0,85 \left(30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) (350 \text{ mm})}$$

$$a = 51,11 \text{ mm}$$

Gaya tekan beton

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a$$

$$C_c' = 0,85 \left(30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) (350 \text{ mm})(51,11 \text{ mm})$$

$$C_c' = 456159,25 \text{ N}$$

$$M_{n\text{pasang}} = C_c' \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{n\text{pasang}} = \left[456159,25 \text{ N} \left(639 \text{ mm} - \frac{51,11 \text{ mm}}{2}\right)\right]$$

$$M_{n\text{pasang}} = 279828549,2 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$M_{n\text{pasang}} > M_{n\text{perlu}}$$

$$279828549,2 \text{ Nmm} > 146628528 \text{ Nmm (memenuhi)}$$

✓ Syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

$$\text{As pakai tulangan tarik 3 D22} = 1140,398 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 3 D22} = 1140,398 \text{ mm}^2$$

- Masing masing luas tulangan atas dan bawah harus lebih besar dari luas tulangan minimum yang dipersyaratkan.

$$0,025b_w d \geq A_s^- \text{ atau } A_s^+ \geq \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d \text{ atau } \frac{1,4b_w d}{f_y}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.1

$$0,025(350)(639) \geq 1140,4 \text{ mm}^2 \geq \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} (350)(639) \text{ atau } \frac{1,4(350)(639)}{400}$$

$$5591,25 \text{ mm}^2 \geq 1140,4 \text{ mm}^2 \geq 765,613 \text{ mm}^2 \geq 782,775 \text{ mm}^2$$

$$5591,25 \text{ mm}^2 \geq 1140,4 \text{ mm}^2 \geq 765,613 \text{ mm}^2 \geq 782,775 \text{ mm}^2$$

Kuat lentur positif balok pada muka kolom harus lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya. Kuat lentur negatif dan positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur terbesar pada bentang tersebut.

$$M_{n,l}^+ \geq \frac{1}{2} M_{n,l}^- \text{ dan } M_{n,r}^+ \geq \frac{1}{2} M_{n,r}^-$$

$$M_n^+ \geq \frac{1}{4} M_{n,max} \text{ dan } M_n^- \geq \frac{1}{4} M_{n,max}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.2

$$M_{n,l}^+ \geq \frac{1}{2} M_{n,l}^-$$

$$1140,4 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{2} (1140,4 \text{ mm}^2)$$

$$1140,4 \text{ mm}^2 \geq 570,2 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

$$M_n^+ \geq \frac{1}{4} M_{n,max} \text{ dan } M_n^- \geq \frac{1}{4} M_{n,max}$$

$$1140,4 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{4} (1140,4 \text{ mm}^2)$$

$$1140,4 \text{ mm}^2 \geq 285,1 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok B 35/70 pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D22 dan tulangan tekan 3D 22 dengan susunan sebagai berikut :

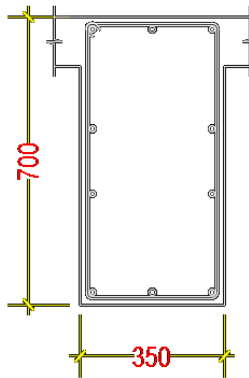
Tulangan lentur tarik susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D22

Tulangan lentur tekan susun 1 lapis

Lapis 1 = 3D22

Gambar Sketsa :



Gambar 4. 23 Hasil Penulangan Balok B 35/70 Lapangan

Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Balok

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan disetap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penanaman, kait, batang ulir berkepala (headed deformed bar) atau alat mekanis atau kombinasi darinya. Kait kepala (heads) tidak boleh digunakan untuk menyalurkan batang tulangan dalam kondisi tekan.

SNI 03-2847-2013 Pasal 12.1.1

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Pengankuran tulangan lentur balok di daerah join dapat dilakukan dengan tulangan berkait atau tanpa kait, tergantung pada ketersediaan space di daerah join.

⇒ Bila digunakan tulangan berkait maka panjang penyalurannya ditetapkan sebagai berikut :

Panjang penyaluran l_{dh} untuk tulangan tarik dengan kait standar 90° dalam beton normal tidak boleh diambil lebih kecil dari $8d_b$, 150 mm, dan $l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_c'}}$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.5.1

⇒ Bila digunakan tulangan tanpa kait maka panjang penyalurannya tidak boleh diambil lebih kecil dari $2,5 l_{dh}$ dan $3,25 l_{dh}$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.7.5.2

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f_c'}}$$

$$l_{dh} = \frac{400 \frac{N}{mm^2} (22 \text{ mm})}{5,4 \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$l_{dh} = 297,528 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Cek syarat :

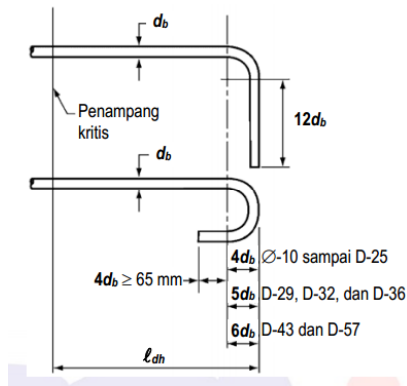
$l_{dh} \geq \text{yang terbesarnya dari } 150 \text{ mm dan } 8 d_b$

$300 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm dan } 8(22 \text{ mm})$

$300 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm dan } 176 \text{ mm}$

⇒ Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 300 mm.

Panjang Penyaluran Kait



Gambar 4. 24 Panjang Penyaluran Kait

$$12d_b = 12(22 \text{ mm})$$

$$12d_b = 264 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

$$4d_b = 4(22 \text{ mm})$$

$$4d_b = 88 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

$$4d_b = 4(22 \text{ mm}) \geq 65 \text{ mm}$$

$$4d_b = 88 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{f'c'}} \right) d_b$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2

$$l_{dc} = (0,043fy)d_b$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2

$$l_{dc1} = \left(\frac{0,24fy}{\lambda\sqrt{f'c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc1} = \left(\frac{0,24 \left(400 \frac{N}{mm^2} \right)}{(1,0) \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}} \right) 22 \text{ mm}$$

$$l_{dc1} = 385,5967 \text{ mm}$$

$$l_{dc2} = (0,043fy)d_b$$

$$l_{dc2} = \left(0,043 \left(400 \frac{N}{mm^2} \right) \right) 22 \text{ mm}$$

$$l_{dc2} = 378,4 \text{ mm}$$

Dipilih yang terbesar, sehingga $l_{dc} = 385,5967 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_{dc} = \left(\frac{A_{sperlu}}{A_{spasang}} \right) l_{dc}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.3

$$l_{dc} = \left(\frac{2355,09 \text{ mm}^2}{2660,929 \text{ mm}^2} \right) 385,5967 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 341,277 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Cek syarat :

$$l_{dc} \geq 300 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

⇒ Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 350 mm.

Penyaluran tulangan momen negatif

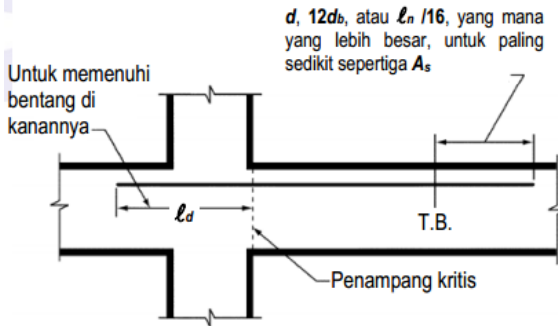
$$d, 12d_b, \text{ atau } \frac{ln}{16} \rightarrow \text{dipilihyangterbesar}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 12.12.3

$$d = 639 \text{ mm}$$

$$12d_b = 12(22 \text{ mm}) = 264 \text{ mm}$$

$$\frac{l_n}{16} = \frac{6500 \text{ mm}}{16} = 406,25 \text{ mm}$$



Gambar 4. 25 Penyaluran Tulangan Momen Negatif

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_d = \left(\frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} \right) l_d$$

$$l_d = \left(\frac{3198,24 \text{ mm}^2}{3421,19 \text{ mm}^2} \right) 639 \text{ mm}$$

$$l_d = 597,36 \text{ mm} \approx 650 \text{ mm}$$

Pembengkokan sengkang dan kait pengikat

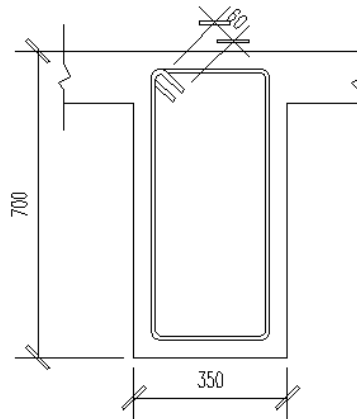
SNI 03-2847-2013 Pasal 7.1.3

Untuk sengkang dan kait pengikat batang tulangan D-16 dan yang lebih kecil, bengkokan 90 derajat ditambah perpanjangan $12d_b$ pada ujung bebas batang tulangan

$$6d_b = 6(10 \text{ mm})$$

$$6d_b = 60 \text{ mm}$$

Gambar Sketsa :

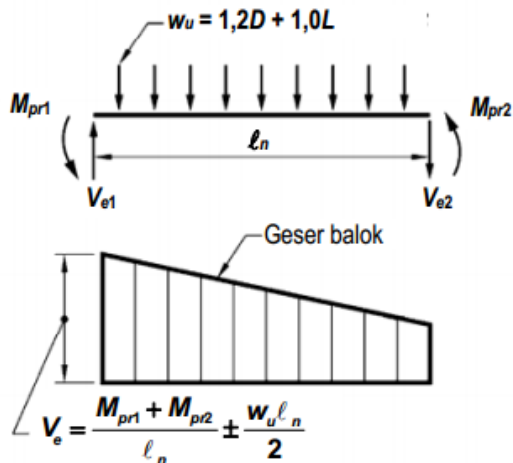


Gambar 4. 26 Pembengkokan Sengkok Balok B 35/70

⇒ Perhitungan Penulangan Geser

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur balok induk melintang (35/70) didapat :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4. 27 Perencanaan Geser untuk Balok SRPMK

Momen Nominal Kiri

- As pakai tulangan tarik 9D22 = 3421,19 mm²
- As pakai tulangan tekan 7D22 = 2660,93 mm²

$$a = \frac{1,25 \cdot A_{spasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a = \frac{(1,25) 3421,19 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{N}{\text{mm}^2}\right)}{0,85 \left(30 \frac{N}{\text{mm}^2}\right) (350 \text{ mm})}$$

$$a = 191,664 \text{ mm}$$

$$M_{nkiri} = 1,25 \cdot A_{spasang} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nkiri} = (1,25) 3421,19 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{N}{\text{mm}^2}\right) \left(639 \text{ mm} - \frac{191,664 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nkiri} = 929142043,2 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal Kanan

- As pakai tulangan tarik 9D22 = 3421,19 mm²
- As pakai tulangan tekan 7D22 = 2660,93 mm²

$$a = \frac{1,25 \cdot A_{spasang} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a = \frac{(1,25) 2660,93 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{N}{\text{mm}^2}\right)}{0,85 \left(30 \frac{N}{\text{mm}^2}\right) (350 \text{ mm})}$$

$$a = 149,072 \text{ mm}$$

$$M_{nkanan} = 1,25 \cdot A_{spasang} \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_{nkanan} = (1,25) 2660,93 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{N}{\text{mm}^2}\right) \left(639 \text{ mm} - \frac{149,072 \text{ mm}}{2}\right)$$

$$M_{nkanan} = 750999539,1 \text{ Nmm}$$

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari :

$$V_u1 = \frac{Mn_l + Mn_r}{L_n} + \frac{W_u \cdot L_n}{2}$$

$$V_u1 = \frac{Mn_l + Mn_r}{L_n} + V_u$$

SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.2.2

DAERAH TUMPUAN

$$V_u1 = \frac{Mn_l + Mn_r}{L_n} + V_{utumpuan}$$

$$V_u1 = \frac{929142043,2 \text{ Nmm} + 750999539,1 \text{ Nmm}}{6500 \text{ mm}} + 135457,63 \text{ N}$$

$$V_u1 = 393940,95 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2

$$\sqrt{30 \text{ MPa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,477 \text{ MPa} < 8,3 \text{ Mpa} \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton

Tulangan geser khusus untuk daerah yang berpotensi membentuk sendi plastis (yaitu di sepanjang $2h$ dari muka kolom), harus dirancang untuk menahan kuat geser perlu dengan menganggap kontribusi penampang beton dalam menahan geser (V_c) = 0, bila :

$$V_{sway} > \frac{1}{2} V_u$$

$$\frac{Mn_l + Mn_r}{L_n} > \frac{\frac{Mn_l + Mn_r}{L_n} + V_u}{2}$$

$$258483,32 \text{ N} > 196970,48 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

$$P_u < \frac{A_g f_c'}{20}$$

$$177691,44 \text{ N} < 367500 \text{ N} (\text{memenuhi})$$

Maka :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c' b_w d}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (350 \text{ mm})(639 \text{ mm})}$$

$$V_c = 808487,79 \text{ N}$$

Pada Wilayah Tumpuan

$$V_{u1} = 3933940,95 \text{ N}$$

$$V_{s_{perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_{s_{perlu}} = \frac{3933940,95}{0,75} - 0$$

$$V_{s_{perlu}} = 525254,6 \text{ N}$$

$$V_{s_{max}} = 0,66 \sqrt{f_c' b_w d}$$

$$V_{s_{max}} = 0,66 \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (350 \text{ mm})(639 \text{ mm})}$$

$$V_{s_{max}} = 1726,85 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan sengkang 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_{v_{perlu}} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) n \text{ kaki}$$

$$A_{v_{perlu}} = \left(\frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \right) 2$$

$$A_{vperlu} = 157,080 \text{ mm}^2$$

Bila dipakai spasi : $s = 100 \text{ mm}$, maka luas penampang sengkang minimum diperlukan :

$$A_{vmin} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yv}}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3

$$A_{vmin} = 0,062 \sqrt{30 \frac{N}{\text{mm}^2} \frac{(350 \text{ mm})(100 \text{ mm})}{240 \frac{N}{\text{mm}^2}}}$$

$$A_{vmin} = 49,52 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu

$$s_{perlu} = \frac{A_{vf} y_d}{V_{sperlu}}$$

$$s_{perlu} = \frac{157,080 \text{ mm}^2 \left(240 \frac{N}{\text{mm}^2} \right) 639 \text{ mm}}{525524,6 \text{ N}}$$

$$s_{perlu} = 45,84 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser di daerah tumpuan dengan jarak 100 mm

KONTROL JARAK SPASI TULANGAN GESER

⇒ Diperlukan spasi tulangan geser disepanjang jarak $2h$ dari sisi muka kolom terdekat.

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.1

$$2h = 2 (700 \text{ mm}) = 1400 \text{ mm}$$

Dengan persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser balok :

$$1. \quad s_{pakai} \leq \frac{d}{4}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.2 (a)

$$s_{pakai} \leq \frac{639 \text{ mm}}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq 159,75 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

$$2. \quad s_{pakai} \leq 6D_{lentur}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.2 (b)

$$s_{pakai} \leq 6(22 \text{ mm})$$

$$100 \text{ mm} \leq 132 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

$$3. \quad s_{pakai} \leq 150 \text{ mm}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.2 (c)

$$s_{pakai} \leq 150 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

⇒ Senggang pertama dipasang tidak lebih dari 50 mm dari muka kolom terdekat.

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.2

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga dipasang Ø10-100 mm dengan senggang 2 kaki.

Pada wilayah lapangan

$$\begin{aligned} V_{u2} &= 393940,95 - (1,4 \times 135457,63) \text{ N} \\ &= 204300,29 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{S_{perlu}} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_{S_{perlu}} = \frac{204300,29}{0,75} - 808487,79$$

$$V_{S_{perlu}} = 536087,4 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan senggang 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_{v_{perlu}} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) n_{kaki}$$

$$A_{v_{perlu}} = \left(\frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \right) 2$$

$$A_{vperlu} = 157,080 \text{ mm}^2$$

Bila dipakai spasi : $s = 200 \text{ mm}$, maka luas penampang sengkang minimum diperlukan :

$$A_{vmin} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3

$$A_{vmin} = 0,062 \sqrt{30 \frac{N}{\text{mm}^2}} \frac{(350 \text{ mm})(200 \text{ mm})}{240 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$A_{vmin} = 397,78 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu

$$s_{perlu} = \frac{A_v f_{yd}}{V_{sperlu}}$$

$$s_{perlu} = \frac{157,080 \text{ mm}^2 \left(240 \frac{N}{\text{mm}^2} \right) 639 \text{ mm}}{536087,4 \text{ N}}$$

$$s_{perlu} = 449,36 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser di daerah lapangan dengan jarak 200 mm

KONTROL JARAK SPASI TULANGAN GESER

⇒ Diperlukan spasi maksimum tulangan geser di sepanjang balok.

$$s_{pakai} \leq \frac{d}{2}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.3.4

$$s_{pakai} \leq \frac{d}{2}$$

$$s_{pakai} \leq \frac{639 \text{ mm}}{2}$$

$$300 \text{ mm} \leq 319,50 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga dipasang Ø10-200 mm dengan sengkang 2 kaki.

⇒ Diperlukan spasi tulangan geser yang disambung lewatkan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $\frac{d}{4}$ dan 100 mm

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.5.2.3

$$s_{pakai} \leq \frac{d}{4} \text{ dan } 100 \text{ mm}$$

$$s_{pakai} \leq \frac{639 \text{ mm}}{4} \text{ dan } 100 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 159,75 \text{ mm dan } 100 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipasang tulangan geser di daerah sambungan lewatkan dengan jarak 100 mm

4.5.2. Perhitungan Tulangan Kolom

Perhitungan tulangan kolom (70/70) ditinjau berdasarkan aksial terbesar, momen terbesar. Untuk kolom (70/70) pada As 5 – E, berikut data-data perencanaan kolom, gambar denah kolom, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan kolom dengan metode SRPMK, perhitungan serta hasil akhir gambar penulangan kolom adalah sebagai berikut :

Data-data perencanaan tulangan kolom :

Tipe kolom	: K1
As kolom	: As 5 – E
Tinggi kolom	: 6000 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 240 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	: 400 MPa

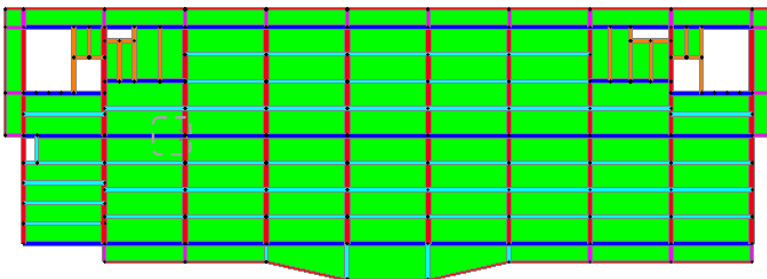
Diameter tulangan lentur (\emptyset lentur)	:25
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	:16
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
	SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1
Faktor β_1	: 0,836
	SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	: 0,65
	SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.2 (b)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
	SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3

Hasil output dan diagram gaya dalam dari SAP 2000

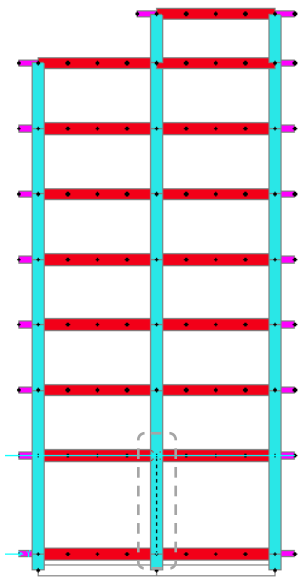
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan kolom.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Denah posisi kolom yang ditinjau



Gambar 4. 28 Denah Posisi Kolom K1 (70/70) pada As 5 – E



Gambar 4. 29 Posisi Kolom K1 (70/70) pada As 5 – E

HASIL OUTPUT SAP

Hasil Output Diagram Axial

Kombinasi 1,2D+1,6L

Gaya Aksial : 3507631,45 N

Hasil Output Diagram Lentur

Momen pada penampang kolom ditinjau dari dua arah, yaitu momen arah X dan arah Y.

Untuk momen arah X

❖ Momen akibat pengaruh gempa

Kombinasi 1,2D+ 1,0Ex+ 1,0L

$$M_{1s} = 368848849 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 251039021 \text{ Nmm}$$

❖ Momen akibat pengaruh beban gravitasi

Kombinasi 1,2D + 1,6L

$$M_{1ns} = 371651,81 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 374876,85 \text{ Nmm}$$

Untuk momen arah Y

❖ Momen akibat pengaruh gempa

Kombinasi 1,2D + 1,0Ex + 1,0L

$$M_{1s} = 151439992 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 111846259 \text{ Nmm}$$

❖ Momen akibat pengaruh beban gravitasi

Kombinasi 1,2D + 1,6L

$$M_{1ns} = 15225430 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 14175836 \text{ Nmm}$$

Persyaratan Gaya dan Geometri SRPMK

- $P_u > 0,1 A_g f_c'$
 $3507631,45 \text{ N} > 0,1(700 \text{ mm})(700 \text{ mm})(30 \text{ N/mm}^2)$
 $3507631,45 \text{ N} > 1470000 \text{ (memenuhi)}$

- $c_1 \geq 300$
700 mm > 300 mm (memenuhi)
- $c_2 \geq 300$
700 mm > 300 mm (memenuhi)
- $c_1/c_2 \geq 0,4$
700mm / 700 > 0,4
1 > 0,4 (memenuhi)

Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{L} \right)_{balok}}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.2

KEKAKUAN KOLOM ATAS

- Kekakuan Kolom (70/70)

$$EI_k = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} (700 \text{ mm})(700 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 14005833330 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{30 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$E_c = 25742,9602 \text{ Nmm}$$

$$EI_k = \frac{0,4(25742,9602 \text{ Nmm})(14005833330 \text{ mm}^4)}{1 + 0,7321}$$

$$EI_k = 1011033086385050 \text{ Nmm}^2$$

- Kekakuan Balok (30/60)

$$EI_b = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} (300 \text{ mm})(600 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 1890000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$E_c = 25742,9602 \text{ Nmm}$$

$$EI_b = \frac{0,4(25742,9602 \text{ Nmm})(1890000000 \text{ mm}^4)}{1 + 0,7321}$$

$$EI_b = 112356275077604 \text{ Nmm}^2$$

KEKAKUAN KOLOM BAWAH

- Kekakuan Kolom (70/70)

$$EI_k = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,7 \frac{1}{12} (700 \text{ mm})(700 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 14005833330 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{30 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$E_c = 25742,9602 \text{ Nmm}$$

$$EI_k = \frac{0,4(25742,9602 \text{ Nmm})(14005833330 \text{ mm}^4)}{1 + 0,7321}$$

$$EI_k = 1011033086385050 \text{ Nmm}^2$$

- Kekakuan Balok (30/60)

$$EI_b = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_d}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.6.1

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_g = 0,35 \frac{1}{12} (300 \text{ mm})(600 \text{ mm})^3$$

$$I_g = 1890000000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{30 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$E_c = 25742,9602 \text{ Nmm}$$

$$EI_b = \frac{0,4(25742,9602 \text{ Nmm})(18900000000 \text{ mm}^4)}{1 + 0,7321}$$

$$EI_b = 112356275077604 \text{ Nmm}^2$$

Kekakuan kolom atas

$$\psi_A = \frac{\left(\frac{EI}{L}\right)_{kolomyangditinjau} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{kolomdiatasnya}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{balok}}$$

$$\psi_A = \frac{\frac{1011033086385050}{6000} + \frac{1011033086385050}{4000}}{\frac{112356275077604}{7200} + \frac{112356275077604}{7200} + \frac{112356275077604}{7200}}$$

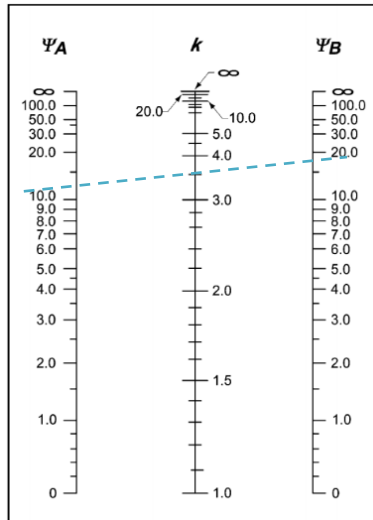
$$\psi_A = 10,2050$$

Kekakuan kolom bawah

$$\psi_B = \frac{\left(\frac{EI}{L}\right)_{kolomyangditinjau} + \left(\frac{EI}{L}\right)_{kolomdibawahnya}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{balok}}$$

$$\psi_B = \frac{\frac{1011033086385050}{3000} + \frac{1011033086385050}{3000}}{\frac{112356275077604}{7200} + \frac{112356275077604}{7200}}$$

$$\psi_B = 14,9202$$



Gambar 4. 30 Faktor Panjang Efektif k

Dari grafik aligment didapatkan faktor panjang efektif, $k = 3,5$
 Kontrol kelangsingan kolom

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.1.2

$$r = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}bh^3}{bh}}$$

$$r = \sqrt{\frac{\frac{1}{12}(700\text{ mm})(700\text{ mm})^3}{(700\text{ mm})(700\text{ mm})}}$$

$$r = 202,0726\text{ mm}$$

$$\frac{kL_u}{r} \leq 22$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.1(a)

$$\frac{(3,5)(6000 \text{ mm})}{202,0726 \text{ mm}} \leq 22$$

$103,923 \leq 22$ (maka kolom termasuk kolom tidak langsing)

FAKTOR PEMBESARAN MOMEN(δ_s)

$$P_c = \frac{\pi EI}{(KL_u)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi (1011033086385050 \text{ Nmm}^2)}{(3,5 (6000 \text{ mm}))^2}$$

$$P_c = 7202390,29 \text{ kg}$$

$$\Sigma P_c = nP_c = 1(7202390,29 \text{ kg}) = 7202390,29 \text{ kg}$$

$$\Sigma P_u = nP_u = 1(3507631,45 \text{ kg}) = 3507631,45 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1$$

SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7.4

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{3507631,45 \text{ kg}}{0,75(7202390,29 \text{ kg})}} \geq 1$$

$$\delta_s = 2,852 \geq 1$$

Maka didapat $\delta_s = 2,852$ dalam perhitungan pembesaran momen.

PEMBESARAN MOMEN X:

Dari output SAP 2000 diperoleh :

$$M_{1ns} = 371651,81 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 374876,85 \text{ Nmm}$$

$$M_{1s} = 368848849 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 251039021 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = 371651,81 \text{ kgm} + 2,852(368848849 \text{ kgm})$$

$$M_1 = 1052328569 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = 374876,85 \text{ kgm} + 2,852(251039021 \text{ kgm})$$

$$M_2 = 716338164,7 \text{ Nmm}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_1 = 1052328569 \text{ Nmm}$$

PEMBESARAN MOMEN Y:

Dari output SAP 2000 diperoleh :

$$M_{1ns} = 15225430 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 14175836 \text{ Nmm}$$

$$M_{1s} = 151439992 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 111846259 \text{ Nmm}$$

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_1 = 15225430 \text{ Nmm} + 2,852(151439992 \text{ Nmm})$$

$$M_1 = 447132287 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

$$M_2 = 14175836 \text{ Nmm} + 2,852(111846259 \text{ Nmm})$$

$$M_2 = 333161366 \text{ Nmm}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_1 = 447132287 \text{ Nmm}$$

Maka momen yang digunakan untuk menghitung kolom adalah 1052328569 Nmm

PENENTUAN JUMLAH TULANGAN

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah

$$\mu h = h_{kolom} - 2 \cdot t_{decking} - 2 \cdot \phi_{geser} - \phi_{lentur}$$

$$\mu h = 700 \text{ mm} - 2(40 \text{ mm}) - 2(16 \text{ mm}) - 25 \text{ mm}$$

$$\mu h = 563 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{\mu h}{h_{kolom}}$$

$$\mu = \frac{563 \text{ mm}}{700 \text{ mm}}$$

$$\mu = 0,804 \approx 0,8$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{bh}$$

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{3507631,4 \text{ N}}{(700 \text{ mm})(700 \text{ mm})}$$

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{3507631,4 \text{ N}}{490000 \text{ mm}^2}$$

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = 7,16$$

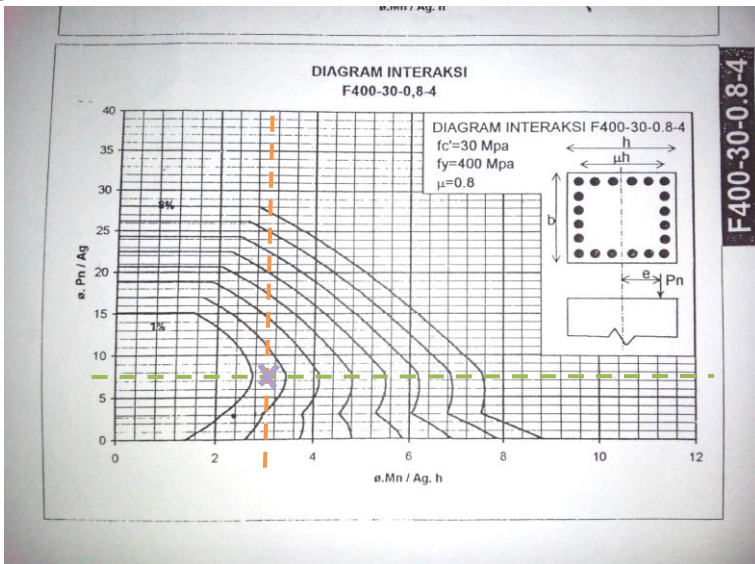
Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g} = \frac{M_u}{bh^2}$$

$$\frac{\phi M_n}{A_g} = \frac{1052328569 \text{ Nmm}}{(700 \text{ mm})(700 \text{ mm})^2}$$

$$\frac{\phi M_n}{A_g} = 3,01$$

Kolom didisain dengan penulangan sisi, sehingga digunakan diagram interaksi 4 sisi, berikut adalah diagram interaksi yang digunakan :



Gambar 4. 31 Diagram Interaksi Penulangan 4 sisi

Maka didapat $\rho_{pertu} = 1,5\%$

Luas tulangan lentur perlu

$$A_{Spertu} = \rho_{pertu}bh$$

$$A_{s_{perlu}} = 0,015 (700 \text{ mm})(700 \text{ mm})$$

$$A_{s_{perlu}} = 7350 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan lentur

$$\text{Luas tulangan D25} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$\text{Luas tulangan D25} = \frac{1}{4} \pi (25 \text{ mm})^2$$

$$\text{Luas tulangan D25} = 490,87 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{\text{luastulangan 25}}$$

$$n = \frac{7350 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2}$$

$$n = 14,97 \approx 16$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$A_{s_{pasang}} = n \left(\frac{1}{4} \pi D^2 \right)$$

$$A_{s_{pasang}} = 16 \left(\frac{1}{4} \pi (25 \text{ mm})^2 \right)$$

$$A_{s_{pasang}} = 7853,98 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 16 D25

Prosentase Tulangan Terpasang

$$\frac{A_{s_{pasang}}}{bh} 100\% < 8\%$$

$$\left(\frac{7853,98 \text{ mm}^2}{(700 \text{ mm})(700 \text{ mm})} \right) 100\% < 8\%$$

$$1,60\% < 8\% \text{ (OK)}$$

Cek kondisi balance :

Tinggi efektif balok :

$$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tulanganlentur}$$

$$d = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \frac{1}{2} (25 \text{ mm})$$

$$d = 631,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \emptyset \text{sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{tulanganlentur}$$

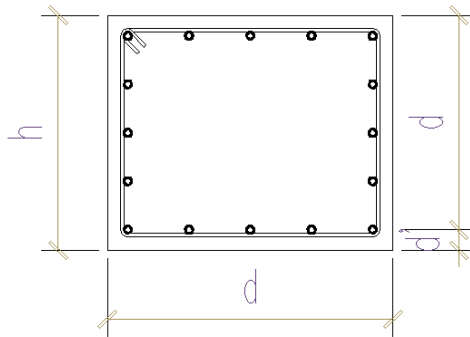
$$d' = 40 \text{ mm} + 16 \text{ mm} + \frac{1}{2} (25 \text{ mm})$$

$$d' = 68,5 \text{ mm}$$

$$d'' = h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{tulanganlentur} - \frac{h}{2}$$

$$d'' = 700 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \frac{1}{2} (25 \text{ mm}) - \frac{700 \text{ mm}}{2}$$

$$d'' = 281,5 \text{ mm}$$



$$X_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d$$

$$X_b = \left(\frac{600}{600 + 400 \frac{N}{mm^2}} \right) 631,5 \text{ mm}$$

$$X_b = 378,9 \text{ mm}$$

$$ab = 0,85X_b$$

$$ab = 0,85(378,9 \text{ mm})$$

$$ab = 322,065 \text{ mm}$$

$$C'_s = A_s(f_y 0,85 f'_c)$$

$$C'_s = 7853,98 \text{ mm}^2 \left(\left(400 \frac{N}{\text{mm}^2} \right) 0,85 \left(30 \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \right)$$

$$C'_s = 80110596 \text{ N}$$

$$T = A_s f_y$$

$$T = 7853,98 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$T = 3141592 \text{ N}$$

$$C'_c = 0,85 \beta_1 f'_c b X_b$$

$$C'_c = 0,85(0,8357) \left(30 \frac{N}{\text{mm}^2} \right) (350 \text{ mm})(378,9 \text{ mm})$$

$$C'_c = 2826072,07 \text{ N}$$

$$P_b = C'_c + C'_s - T$$

$$P_b = 2826072,07 \text{ N} + 80110596 \text{ N} - 3141592 \text{ N}$$

$$P_b = 79795076,07 \text{ N}$$

$$M_b = C'_c \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C'_s (d - d'' - d') + T(d'')$$

$$M_b = 2826072,07 \left(631 - 281 - \frac{322,065}{2} \right) + 80110596 (631 - 281 - 68) + 3141592(281)$$

$$M_b = 25313314325,78 \text{ Nmm}$$

$$M_b = P_b e_b$$

$$e_b = \frac{M_b}{P_b}$$

$$e_b = \frac{25313314325,78 Nmm}{79795076,07 N}$$

$$e_b = 317,23 \text{ mm}$$

$$M_u = \frac{M}{\phi}$$

$$M_u = \frac{1052328569 Nmm}{0,65}$$

$$M_u = 1618967029 Nmm$$

$$P_u = \frac{P}{\phi}$$

$$P_u = \frac{3507631,45 N}{0,65}$$

$$P_u = 5396356,08 N$$

$$e_{pertu} = \frac{M_u}{P_u}$$

$$e_{pertu} = \frac{1618967029 Nmm}{53963561 N}$$

$$e_{pertu} = 53,62 \text{ mm}$$

$$e_{min} = 15,24 + 0,03h$$

$$e_{min} = 15,24 + 0,03(700 \text{ mm})$$

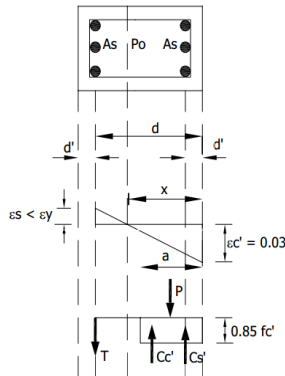
$$e_{min} = 36,24 \text{ mm}$$

Kontrol kondisi

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$36,24 \text{ mm} < 53,6185 \text{ mm} < 317,23 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk kondisi tekan menentukan
Kontrol kondisi tekan menentukan



Gambar 4. 32 Kontrol Kondisi Tekan Kolom

$$C'_s = A_s(f_y 0,85 f'_c)$$

$$C'_s = 7853,98 \text{ mm}^2 \left(400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) 0,85 \left(30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$C'_s = 80110596 \text{ N}$$

$$C'_c = 0,85 \beta_1 f'_c b X_b$$

$$C'_c = 0,85 (0,8357) \left(30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) (350 \text{ mm}) X_b$$

$$C'_c = 7458,63 X_b$$

Mencari nilai X :

$$a = 0,54d$$

$$0,85X = 0,54(631,5 \text{ mm})$$

$$X = 401,19 \text{ mm}$$

Maka,

$$C'_c = 7458,63(401,19 \text{ mm})$$

$$C'_c = 2992314,61 \text{ N}$$

Mencari nilai f_s

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) 600$$

$$f_s = \left(\frac{631,5 \text{ mm}}{401,19} - 1 \right) 600$$

$$f_s = 344,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_s < f_y = 344,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \rightarrow f_s = 344,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$T = A_s f_s$$

$$T = 7853,98 \text{ mm}^2 \left(344,44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$T = 2705224,87 \text{ N}$$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow (f_y < f_s)$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{X} - 1 \right) 0,003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{681,5 \text{ mm}}{401,19 \text{ mm}} - 1 \right) 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,002096$$

$$f_s = \varepsilon_s E_s$$

$$f_s = 0,002096 \left(200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$f_s = 419,22 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400 \frac{N}{mm^2}}{200000 \frac{N}{mm^2}}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,002096 < 0,002 \text{ (memenuhi)}$$

$$P = C'_c + C'_s - T$$

$$P = 2992314,61N + 80110596N - 2705224,87N$$

$$P = 80397685,74 N$$

$$P > P_b$$

$$80397685,74 N > 79795076,07 N \text{ (memenuhi)}$$

$$a = 0,85X$$

$$a = 0,85(401,19 mm)$$

$$a = 341,01 mm$$

$$M_n = C'_c \left(d - d'' - \frac{a}{2} \right) + C'_s (d - d'' - d') + T(d'')$$

$$\begin{aligned} M_n = 2992314,61N \left(681,5 mm - 281,5 mm - \frac{341,01 mm}{2} \right) \\ + 80110596N(681,5 mm - 281,5 mm - 68,5 mm) \\ + 2705224,87N(281,5 mm) \end{aligned}$$

$$M_n = 28004904620 Nmm$$

Cek syarat :

$$M_n > M_u$$

28004904620 Nmm > 1618967029 Nmm (memenuhi)

Jadi dapat digunakan tulangan utama kolom sebesar 16 D25

KONTROL

✓ Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 40 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 40 \text{ mm} \rightarrow$ perbesar penampang kolom

Jarak bersih antar tulangan

$$s_{maks} = \frac{b - (2 \cdot t_{decking}) - (2 \cdot \phi_{geser}) - (jumlahtulangan \cdot D_{lentur})}{jumlahtulangan - 1}$$

$$s_{maks} = \frac{(700 \text{ mm}) - 2(40 \text{ mm}) - 2(16 \text{ mm}) - 5(25 \text{ mm})}{5 - 1}$$

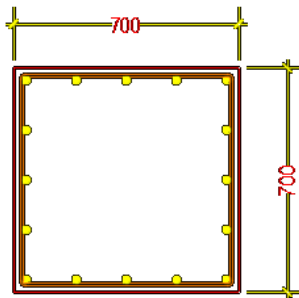
$$s_{maks} = 115,75 \text{ mm} > 40 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

✓ Syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada kolom

$$A_{st} > 0,01A_g < 0,06A_g$$

$$7853 \text{ mm}^2 > 4900 \text{ mm}^2 < 29400 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

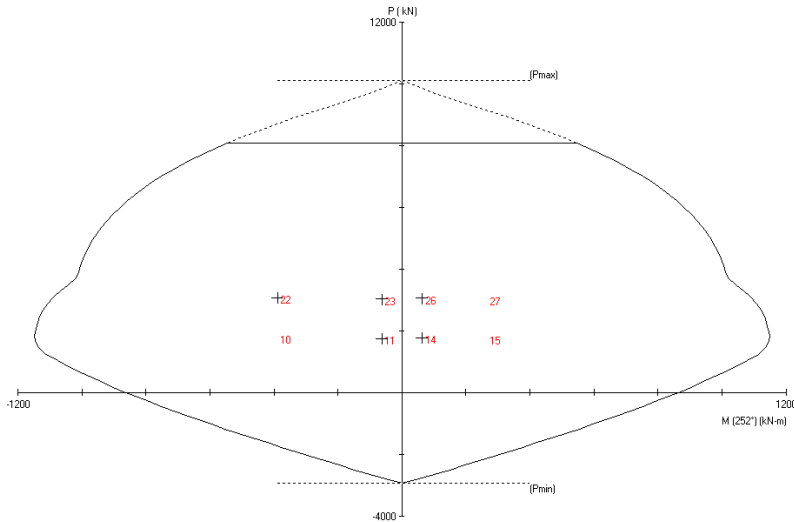
Gambar Sketsa :



Gambar 4. 33 Hasil Penulangan Kolom K1 (70/70)

Cek dengan program pcaColumn

Output terbesar yang didapan dari SAP dimasukkan dalam analisis pcaColumn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :



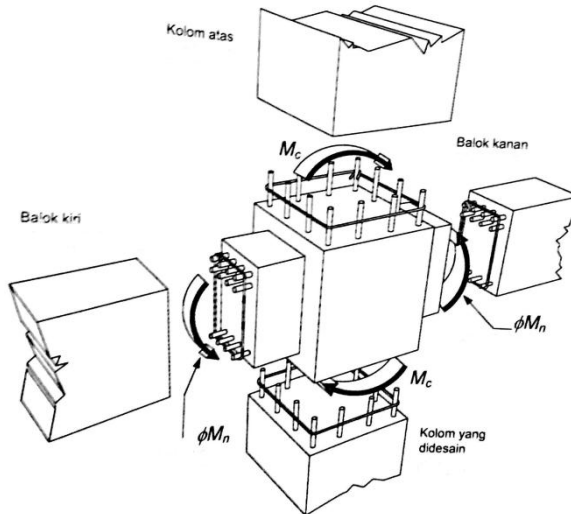
Gambar 4. 34 Hasil Output pcaColumn K1

Jadi kolom dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi.

Perhitungan Kekuatan Lentur Minimum Kolom

Kuat kolom ϕM_n harus memenuhi $\Sigma M_c \geq 1,2 \Sigma M_g$

SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4



Gambar 4. 35 Ilustrasi ϕM_n Balok Akibat Goyangan Struktur

$$\begin{aligned} \text{Jadi } 1,2 \Sigma M_g &= 1,2 (750,99 + 929,14) \text{ kNm} \\ &= 1165,3098 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\Sigma M_c = 28004,9 + 28004,9 = 1259,0 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_c \geq 1,2 \Sigma M_g$$

$$56009,8 \text{ kNm} \geq 2017,2 \text{ kNm (memenuhi)}$$

Perhitungan Penulangan Confinement

Total luas penampang sengkang tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara :

$$A_{sh} > 0,3 \frac{sbcfc'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \text{ dan } 0,09 \frac{sbcfc'}{f_{yt}}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.4

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sbcfc'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \frac{bcfc'}{f_{yt}} \left[\left(\frac{Ag}{Ach} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,3 \frac{\left[(700 - 2 \left(40 + \frac{16}{2} \right)) (30) \right]}{400} \left[\left(\frac{700 \times 700}{(700 - 80)^2} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,124 \text{ mm/mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sbfc'}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{bcfc'}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,09 \frac{\left[(700 - 2 \left(40 + \frac{16}{2} \right)) (30) \right]}{400}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 4,077 \text{ mm/mm}^2$$

Maka A_{sh}/s yang digunakan adalah $4,077 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Bila dipakai spasi : $s = 100 \text{ mm}$, maka luas penampang sengkang diperlukan :

$$A_{sh} = 4,077 \frac{\text{mm}}{\text{mm}^2} \times 100 \text{ mm} = 407,7 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan :

$$A_{vpasang} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) n_{kakixs}$$

$$A_{vpasang} = \left(\frac{1}{4} \pi (13 \text{ mm})^2 \right) 4 \times 100$$

$$A_{vpasang} = 530,93 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan geser Ø13-100 mm dengan sengkang 4 kaki di daerah sepanjang l_o .

KONTROL JARAK SPASI TULANGAN GESER

⇒ Diperlukan spasi tulangan geser disepanjang l_o dari ujung-ujung kolom, l_o dipilih yang terbesar antara :

1. Tinggi elemen kolom, h , di join = 700 mm
2. $1/6$ tinggi bersih kolom = $6000/6$ = 1000 mm
3. 450 mm.

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.4.1

Dengan demikian, diambil nilai l_o adalah 1000 mm.

Dengan persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser kolom :

$$1. \quad s_{pakai} \leq \frac{h}{4}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.4.3 (a)

$$s_{pakai} \leq \frac{1000 \text{ mm}}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$2. \quad s_{pakai} \leq 6D_{lentur}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.4.3 (b)

$$s_{pakai} \leq 6(25 \text{ mm})$$

$$100 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$3. \quad s_{pakai} \leq s_o$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.4.3 (c)

$$s_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

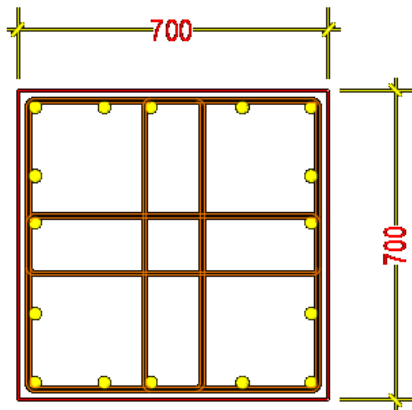
$$s_o = 100 + \frac{350 - 2/3 \left[(700 - 2 \left(40 + \frac{16}{2} \right)) \right]}{3}$$

$$s_o = 82,4 \text{ mm}$$

Namun s_o tidak boleh melebihi 150 mm, dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm.

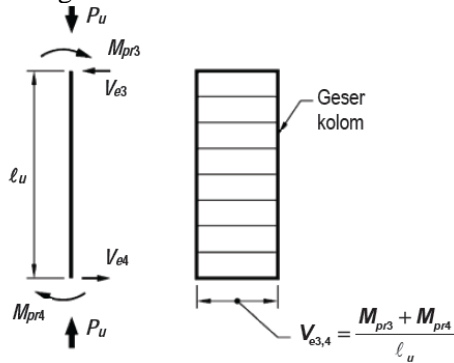
Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga dipasang Ø13-100 mm dengan sengkang 4 kaki.

Gambar Sketsa :



Gambar 4. 36 Hasil Penulangan Kolom K1 70/70 Tumpuan

Perhitungan Penulangan Geser



Gambar 4. 37 Perencanaan Geser untuk Kolom SRMPK

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

$$V_u = \frac{M_{pr} + M_{pr}}{l_u}$$

$$V_u = \frac{1680141582 \text{ Nmm} + 1680141582 \text{ Nmm}}{6000 \text{ mm}}$$

$$V_u = 560047,19 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3 MPa.

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.1.2

$$\sqrt{30 \text{ MPa}} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,477 \text{ MPa} < 8,3 \text{ Mpa} (\text{memenuhi})$$

Kuat geser beton

Tulangan geser yang dipasang khusus di sepanjang daerah lo untuk menahan gaya geser V_e , harus dilakukan dengan menganggap (V_c) = 0, bila :

1. $V_e > \frac{1}{2} V_u$
560047,19 N > 140276 N (memenuhi)
2. $P_u < \frac{A_g f_c'}{20}$
3507631,45 N > 892500 N (tidak memenuhi)

Maka :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$

SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{3507631,45 \text{ N}}{14(700 \text{ mm})(700 \text{ mm})} \right) (1,0) \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} (700 \text{ mm})(631,5 \text{ mm})$$

$$V_c = 622065,88 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{smin} = 0,33 b_w d$$

$$V_{smin} = 0,33(700 \text{ mm})(631,5 \text{ mm})$$

$$V_{smin} = 145876,5 \text{ N}$$

$$V_{smax} = 0,33 \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$V_{smax} = 0,33 \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} (700 \text{ mm})(631,5 \text{ mm})$$

$$V_{smax} = 798998,5 \text{ N}$$

$$2V_s \max = 0,66 \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$2V_s \max = 0,66 \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}} (700 \text{ mm})(631,5 \text{ mm})$$

$$2V_s \max = 1597996,99 \text{ N}$$

Cek kondisi :

Kondisi 1

$$Vu \leq 0,5\phi Vc$$

→ tidak perlu tulangan geser

$$560047,19 \text{ N} > 285280,62 \text{ N}$$

(tidak memenuhi)

Kondisi 2

$$0,5\phi Vc \leq Vu \leq \phi Vc$$

→ perlu tulangan geser

$$285280,62 \text{ N} < 560047,19 \text{ N} < 570651,25 \text{ N}$$

(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2.

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø13 mm dengan sengkang 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av_{perlu} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) nkaki$$

$$Av_{perlu} = \left(\frac{1}{4} \pi (13 \text{ mm})^2 \right) 2$$

$$Av_{perlu} = 265,47 \text{ mm}^2$$

Bila dipakai spasi : s = 100 mm, maka luas penampang sengkang minimum diperlukan :

$$Av_{min} = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

$$Av_{min} = 0,062 \sqrt{30 \frac{N}{mm^2} \frac{(700 \text{ mm})(100 \text{ mm})}{240 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$Av_{min} = 99,07 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan geser Ø13-100 mm dengan sengkang 2 kaki di luar daerah panjang l_o .

KONTROL JARAK SPASI TULANGAN GESER

⇒ Diperlukan spasi tulangan geser disepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi l_o di masing-masing ujung kolom)

Dengan persyaratan SRPMK untuk kekuatan geser kolom :

$$1. \quad s_{pakai} \leq 6D_{lentur}$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.4.5

$$s_{pakai} \leq 6(25 \text{ mm})$$

$$100 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

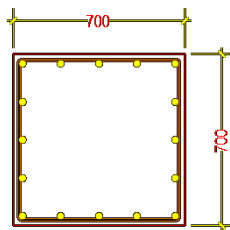
$$2. \quad s_{pakai} \leq 150$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 21.6.4.5

$$100 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, sehingga dipasang Ø16-100 mm dengan sengkang 2 kaki.

Gambar Sketsa :



Gambar 4. 38 Hasil Penulangan Kolom K1 70/70 Lapangan

Perhitungan panjang penyaluran tulangan kolom

Sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071f_yd_b$ untuk f_y sebesar 420 MPa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071f_yd_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \left(400 \frac{N}{mm^2} \right) 25 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

⇒ Maka panjang sambungan lewatan tulangan vertikal kolom 700 mm.

4.5.3. Perhitungan Tulangan pada Hubungan Balok dan Kolom

Perhitungan dan detailing penulangan pada hubungan balok kolom (HBK) SRPMK merupakan tempat pertemuan komponen struktur balok dan kolom yang telah direncanakan.

Dimensi Join

Luas efektif hubungan balok-kolom, dinyatakan dalam A_j , adalah

$$A_j = 700 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} = 490000 \text{ mm}^2$$

Panjang join yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser di join sedikitnya 20 kali d_b longitudinal terbesar.

$$\text{Panjang join} = 20 \times 25 \text{ mm} = 500 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Penulangan Geser untuk Confinement

Total luas penampang sengkang yang dibutuhkan setidaknya setengah tulangan confinement yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom, yaitu :

$$0,5 A_{sh}/s = 0,5 (4,077 \text{ mm}^2/\text{mm}) = 2,0385 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

SNI 03-2847-2013 pasal 21.7.3.2

Spasi vertikal hoop diizinkan untuk diperbesar 150 mm dalam tinggi keseluruhan h komponen struktur rangka yang terpendek.

Bila dipakai spasi : $s = 150 \text{ mm}$, maka luas penampang sengkang diperlukan :

$$A_{sh} = 2,0385 \frac{\text{mm}}{\text{mm}^2} \times 150 \text{ mm} = 305,78 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan :

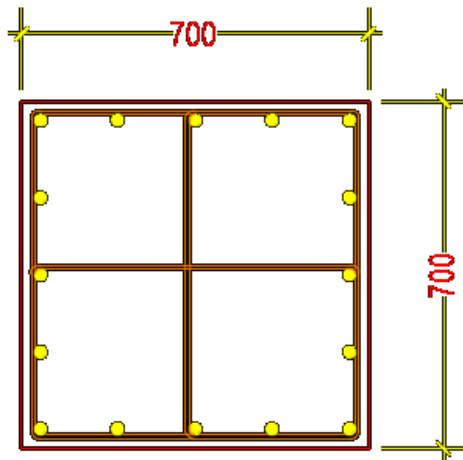
$$A_{vpasang} = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) n k a k i x s$$

$$A_{vpasang} = \left(\frac{1}{4} \pi (13 \text{ mm})^2 \right) 3 \times 150$$

$$A_{vpasang} = 398,197 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan geser Ø13-100 mm dengan sengkang 3kaki di daerah hubungan balok dan kolom.

Gambar Sketsa :



Gambar 4. 39 Hasil Penulangan Kolom K1 70/70 Tumpuan

Persyaratan Dimensi Join HBK pada SRPMK

- $h \text{ kolom} > 20d_b$
 $700 \text{ mm} > 20 (25 \text{ mm})$
 $700 \text{ mm} > 500 \text{ mm} (\text{memenuhi})$

SNI 03-2847-2013 pasal 21.7.2.3

Penulangan Geser di Join

Tinjau *free-body* diagram sebagai berikut :

Pada join, kekakuan kolom atas dan kekakuan kolom bawah sama, sehingga $DF = 0,5$ untuk setiap kolom. Sehingga:

$$M_e = 0,5 \times (75099539 + 929142043,2) \text{ Nmm} = 840070791 \text{ Nmm}$$

Geser pada kolom atas :

$$V_{sway} = \frac{M_e + M_e}{l_u} = \frac{(840070791 + 840070791)}{6000 \text{ mm}} = 280023,6 \text{ N}$$

Dibagian lapis atas balok, baja tulangan yang dipakai adalah 9 D 22, $A_s = 3421,19 \text{ mm}^2$.

Gaya **tarik** yang bekerja pada baja tulangan balok di bagian **kiri** adalah

$$\begin{aligned} T_l &= 1,25 A_s f_y \\ &= 1,25 \cdot 3421,19 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 1710595 \text{ N} = 1710,595 \text{ kN} \end{aligned}$$

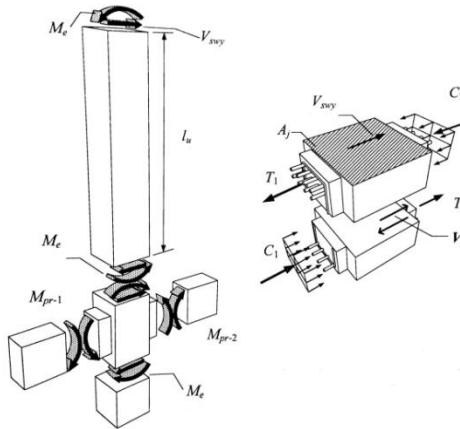
Gaya **tekan** yang bekerja pada balok ke arah **kiri** adalah

$$C_l = T_l = 1710,595 \text{ kN}$$

Gaya **tarik** yang bekerja pada baja tulangan balok di bagian **kanan** adalah

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 A_s f_y \\ &= 1,25 \cdot 3421,19 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 1710595 \text{ N} = 1710,595 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya **tekan** yang bekerja pada balok ke arah **kanan** adalah
 $C_2 = T_2 = 1710,595 \text{ kN}$



Gambar 4. 40 Free-body Diagram Join

$$\begin{aligned} V_u = V_j &= V_{sway} - C \\ &= 280,02 \text{ kN} - 1710,595 \text{ kN} - 1710,595 \text{ kN} \\ &= -3141,17 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal join yang dikekang di keempat sisinya adalah:

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \sqrt{f_c'} A_j \\ V_n &= 1,7 \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} (700 \text{ mm})(700 \text{ mm}) \end{aligned}$$

$$V_n = 1,7 \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} (490000 \text{ mm}^2)$$

$$V_n = 4562528,9 \text{ N} = 4562,53 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75(4562,53 \text{ kN}) = 3421,9 \text{ kN} > -3141,17 \text{ kN}$$

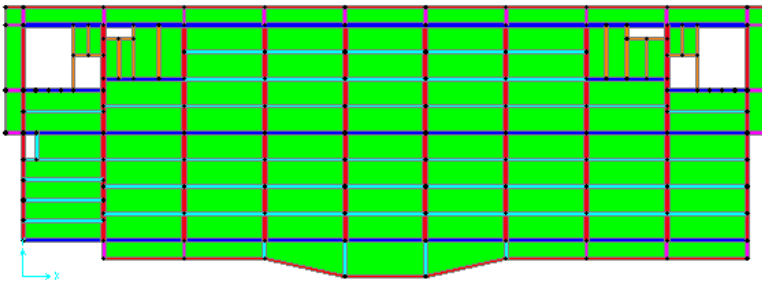
(OK, kuat geser join memadai)

BAB V

METODE PELAKSANAAN

Pemilihan suatu metode pelaksanaan sangat penting dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi karena dengan metode pelaksanaan yang tepat dapat memberikan hasil yang maksimal terutama jika ditinjau dari segi efisiensi biaya, mutu dan waktu yang diperlukan. Dengan adanya kemajuan teknologi yang semakin pesat dalam bidang konstruksi saat ini inovasi yang dimunculkan adalah penggunaan baja ringan. Awalnya baja ringan digunakan sebagai bahan penutup atap tetapi saat ini penggunaan baja ringan mulai dikembangkan secara intensif yang berbentuk lembaran bergelombang sebagai pengganti pelat lantai konvensional maupun pre-cast.

Dalam Proyek Akhir ini peninjauan dilakukan pada metode pelaksanaan pelat beton bondek proyek pembangunan Gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS yang direncanakan memiliki 8 pelat lantai dan 1 pelat atap yang dalam perencanaannya memiliki denah yang tipikal sehingga mempermudah dalam proses pelaksanaannya.



Gambar 5. 41 Denah Pelat Rencana

Bondek adalah geladak baja galvanis yang memiliki daya tahan tinggi dan berfungsi ganda dalam konstruksi plat beton, yakni sebagai peyangga permanen juga sebagai penulangan searah positif. Kekuatan tarik leleh minimum pelat baja ini adalah 550 MPa. Tebal pelat standar adalah 0,70 mm dengan pilihan tebal yang lain 1 dan 1,2 mm. Pemasangan panel bondek pada pelat beton diletakkan pada arah memendek bentang.

Penggunaan pelat beton bondek akan memberikan keuntungan bagi struktur secara keseluruhan karena penghematan dalam penggunaan *formwork* dan besi beton. Pelat baja bondek ini berfungsi antara lain sebagai lantai kerja sementara, sebagai bekisting tetap dan tulangan positif. Penggunaan plat bondek juga memberikan keuntungan yang lain yaitu dari segi waktu pelaksanaan konstruksi yang lebih cepat dan menjamin mutu beton sempurna karena tidak adanya pembongkaran bekisting beton yang terlalu dini. Namun pelat beton bondek juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu perlunya pengaturan yang tepat agar tidak banyak sisa bondek yang terbuang dan juga harga bondek sangat berpengaruh dengan harga baja sehingga jika harga baja tinggi maka harga bondek juga tinggi.

Secara garis besar urutan pelaksanaan pemasangan pelat beton bondek umumnya dipasang dengan 2 cara. Hal yang membedakan dari dua cara tersebut yaitu dalam proses pengecorannya. Cara pertama yaitu pelaksanaan pengecoran balok dan kolom dilakukan secara bersamaan. Sedangkan cara kedua pengecoran balok dilakukan terlebih dahulu baru lembaran bondek dipasang.

⇒ Berikut merupakan langkah-langkah pelaksanaan plat bondek adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan kolom, meliputi pemasangan pembesian kolom lalu pemasangan bekisting kolom dan pengecoran.



2. Pemasangan balok, meliputi pemasangan pembesian balok lalu pemasangan bekisting balok dan pengecoran.



3. Bondek disusun dan diletakkan diatas balok sesuai dengan kebutuhan, bondek menumpu balok minimal 2,5 cm di tepi balok. Antar bondek hanya dipasang overlapping tanpa shear stud atau dilas. Pasang end stop pada tepi-tepi area untuk mencegah beton tumpah.



4. Pemasangan pembesian pelat beton bondek berdasarkan perhitungan tulangan pelat satu arah pada bab 4.4.1.



5. Pada bagian tepi bondek dipaku dengan paku beton dengan jarak dekat sedangkan tulangan pelat disambungkan dengan tulangan balok yg menonjol dan diikat dengan kawat beton.

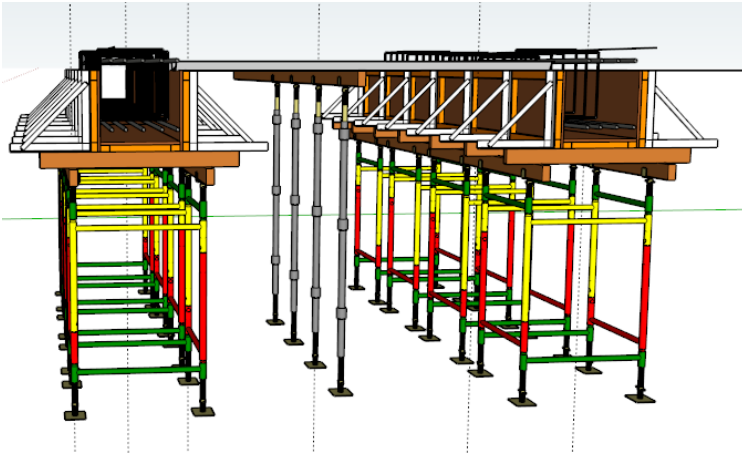


6. Sebelum proses pengecoran dilakukan, harus dipasang perancah terlebih dahulu pada bagian bawah bondek. Jarak pasang perancah berdasarkan tabel dibawah ini.

SMARTDEK™ SPAN TABLE (FORMWORK STAGE)

Span Type		Single			Continuous End			Continuous Interior		
	BMT	0.7	1.0	1.2	0.7	1.0	1.2	0.7	1.0	1.2
Slab Thickness (mm)	100	2380	2740	2800	2640	3410	3200	2640	3280	3200
	110	2310	2650	2780	2550	3320	3110	2550	3170	3110
	120	2230	2570	2700	2470	3230	3020	2470	3070	3020
	130	2170	2500	2620	2400	3150	2930	2400	2990	2930
	140	2110	2430	2560	2330	3080	2850	2330	2900	2850
	150	2060	2370	2500	2270	3000	2770	2270	2800	2770
	160	2010	2330	2440	2210	2930	2700	2210	2710	2700
	170	1960	2260	2390	2160	2850	2640	2140	2630	2640
	180	1920	2230	2340	2110	2790	2580	2080	2550	2580
	200	1840	2150	2180	2030	2670	2470	1870	2300	2470

Perencanaan tebal plat adalah 120 mm dengan ketebalan bondek 0,7 mm maka dipasang perancah dengan jarak 2470 mm.



7. Pelat lantai siap dicor. Pada proses pengecoran, campuran beton yang digunakan yaitu beton ready mix. Pertama-tama campuran beton dituang ke bagian yang akan dicor dengan menggunakan pipa baja. Setelah itu meratakan campuran beton ready mix dengan penggaruk dan dipadatkan dengan concret vibrator.

BAB VI KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Proyek Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

6.1.1 Hasil Kelas Situs Tanah

Berdasarkan data tanah pada Lokasi Gedung Bengkel dan Laboratorium PPNS adalah Tanah Sedang (SD).

6.1.2 Hasil Kategori Desain Seismik

Berdasarkan fungsi bangunan, S_{DS} dan S_{D1} maka tergolong dalam kategori desain seismik D. Maka sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

6.1.3 Hasil Penulangan Struktur Sekunder

1) Perhitungan Pelat

Merupakan pelat 1 arah (one way slab) dengan tebal 12 cm. Hasil perhitungan tulangan adalah sebagai berikut :

- Tulangan Arah X
 - Tumpuan = $\emptyset 10 - 200$
 - Lapangan = $\emptyset 10 - 200$
 - Susut = $\emptyset 8 - 200$
- Tulangan Arah Y
 - Tumpuan = $\emptyset 10 - 200$
 - Lapangan = $\emptyset 10 - 200$
 - Susut = $\emptyset 8 - 200$

2) Perhitungan Tangga

Merupakan pelat 1 arah (one way slab) dengan tebal 15 cm. Sedangkan ukuran tinggi injakan adalah 18 cm dan

lebar injakan 25 cm. Hasil perhitungan tulangan adalah sebagai berikut :

- Penulangan Plat Tangga
 Arah Y = $\emptyset 12 - 150$
 Arah X = $\emptyset 10 - 150$
- Penulangan Plat Bordes
 Arah Y = $\emptyset 12 - 150$
 Arah X = $\emptyset 10 - 150$

6.1.4 Hasil Penulangan Struktur Primer

1. Komponen Balok (B1 35/70)

Tumpuan

Tul. Lentur

- Tul. Atas = 9 D 22
- Tul. Bawah = 7 D 22

Tul. Geser = $\emptyset 10 - 100$

Lapangan

Tul. Lentur

- Tul. Atas = 3 D 22
- Tul. Bawah = 3 D 22

Tul. Geser = $\emptyset 10 - 200$

2. Komponen Kolom (K1 70/70)

Tul. Lentur = 16 D 25

Tul. Geser

- Tumpuan = 4 kaki $\emptyset 13 - 100$
- Lapangan = 2 kaki $\emptyset 13 - 100$

6.1.5 Metode Pelaksanaan.

Langkah-langkah pelaksanaan pelat beton bondek dilapangan:

1. Pasang besi kolom, bekisting kolom, cor kolom, lepas bekisting kolom.
2. Pasang besi balok, bekisting balok, cor balok, lepas bekisting balok.
3. Gelar lembaran bondek diatas balok sesuai kebutuhan. Pasang lembaran bondek agak masuk 2.5 cm diatas balok
4. Paku lembaran bondek agar tidak terjadi geser pada saat para pekerja bekerja.
5. Pasang tulangan pelat sesuai perhitungan pelat satu arah.
6. Ikat tulangan pelat dengan besi tulangan balok yg menonjol dan diikat dengan kawat beton.
7. Setelah pembesian dan lembaran bondek siap, maka pengecoran dapat dilakukan.
8. Pasang perancah jika diperlukan agar tidak terjadi lendutan pada saat pengecoran dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012. Jakarta : Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain SNI 03-1727-2013. Jakarta : Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. Persyaratan Beton Strutural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013. Jakarta : Standar Nasional Indonesia
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung. Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan
- Imran, Iswandi., Fajar Hendrik, 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung : ITB
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010. Peta Hazard Gempa Indonesia. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum
- Prof. Ir. Rachmat Purwono, M.Sc. 2005. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Jakarta : ITS Press
- Wang, Chu K., Salmon, Charles G., Hariandja, B., 1990. Desain Beton Bertulang. Edisi Ke Empat. Jakarta : Penerbit Erlangga.



Penulis bernama Inneke Ayu Prihandhini merupakan anak pertama dari pasangan M. Ikhwan, S.Pd dan Dra. Rinny Sulistijarini, lahir pada tanggal 09 bulan Pebruari tahun 1993. Sebelum menempuh pendidikan D4 Lanjut Jenjang Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, penulis pernah mengenyam pendidikan D3 Teknik Sipil di Universitas Negeri Surabaya. Penulis juga pernah bersekolah di SDN Rangkah VII Surabaya lalu melanjutkan ke SMP

Negeri 28 Surabaya setelah itu ke SMK Negeri 1 Surabaya. Selama menempuh pendidikan D4 Lanjut Jenjang Teknik Infrastruktur Sipil penulis juga bekerja sebagai karyawan di CV. Elemen Tiga Tiga (Konsultan Perencanaan dan Pengawasan) dan Karyawan Dinas Sosial Kota Surabaya.